Phys. g. 315

Digitized by Google

7

<366107555400 16

<366107555400 16

Bayer. Staatsbibliothek

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Die

gesammten Naturwissenschaften.

Digitized by Google

. . . Im ſtillen Gemach entwirft bedeutende Zirkel
Sinnend der Weiſe, beſchleicht forſchend den ſchaffenden Geiſt,
Prüft der Stoffe Gewalt, der Magnete Haſſen und Lieben,
Folgt durch die Lüfte dem Klang, folgt durch den Aether dem Strahl,
Sucht das vertraute Geſetz in des Zufalls grauſenden Wundern,
Sucht den ruhenden Pol in der Erſcheinungen Flucht.

Schiller.

Digitized by Google

Phys. G. 315.

Die

gesammten

Naturwissenschaften.

Für das Verständniß weiterer Kreise
und auf wissenschaftlicher Grundlage bearbeitet

von

Dippel, Gottlieb, Koppe, Lottner, Mädler, Masius, Moll, Nauck, Nöggerath, Quenstedt und von Rußdorf.

Eingeleitet

von

Hermann Masius.

In drei Bänden.

Erster Band.

Mit zahlreichen in den Text eingedruckten Abbildungen.

Essen,
Druck und Verlag von G. D. Bädeker.
1857.

Digitized by Google

Phys. g. 315 / 1

BIBLIOTHECA REGIA MONACENSIS

Bayerische Staatsbibliothek München

Digitized by Google

Zur Erläuterung.

Die umstehende Illustration will in symbolischer Weise den Umfang der **„gesammten Naturwissenschaften"** zur Anschauung bringen. — Aus deutschem Stamme ist der Genius geboren, in dem sich das Wissen von der Natur in der großartigsten Verkörperung zusammengefaßt hat und von dem aus nach allen Richtungen hin die leuchtenden Radien gehen: Alexander von Humboldt. Mit Recht erscheint daher seine Gestalt als das eigentliche Bild im Bilde, während um den Fürsten der Wissenschaft her die einzelnen Gebiete in arabeskenartigen Emblemen sich gruppiren. Im Hintergrunde erhebt (getreu copirt nach Humboldt's eigener Zeichnung) der Chimborazo den schneebedeckten Gipfel. Der Kosmograph erstieg im Jahre 1802 diese höchste Höhe, zu welcher überhaupt der Fuß eines Menschen emporgedrungen ist. Das Felsgeschiebe, welches sich rechts, der Vulkan, welcher sich links an den Riesenberg schließt, deuten die Geologie und Geognosie an, die in der Lapidarschrift der Gebirge die Entstehungsgeschichte der Planeten zu lesen versuchen. Das Geklüft und die zertrümmerten Krystallsäulen im Tiefgrunde der Mitte erinnern an die Mineralogie; das unterirdische Volk der Gnomen, welches (rechts) die Erzader anschlägt und (links) in der Gluth des Schmelzfeuers den König der Metalle zu erscheinen zwingt, versinnbildet den Bergbau und die Hüttenkunde. Am Fuße der Berge ragen die stolzen Geschlechter der Tropenvegetation, während wenig über den Boden erhoben der Kaktus seine Korallenzacken aufeinander setzt. Um den Stamm der Palme ringelt sich das furchtbare Reptil, in ihren Zweigen wiegen sich schimmernde Vögel, im Wipfel fratzenhafte Affen. Andere Thiergestalten stellte der Zeichner mit künstlerischer Freiheit in die Rankengewinde, um so das Bereich der Botanik und der Zoologie in ihren hervorragendsten Vertretern zu umschreiben. Die Phiolen und ähnliche Apparate, rechts in einem Nebenfelde sichtbar, sind gleicherweise in der Werkstätte des Chemikers wie des Physikers und des Physiologen im Gebrauch. Kunstvoll und leicht verletzbar dienen sie doch in der Hand der Forscher, die Natur und das Wechselspiel der schaffenden, treibenden Kräfte zu entbinden, welche wiederum die Technologie ihren gewaltigsten Schöpfungen unterthan macht. Die dampfumwirbelte Lokomotive links auf der Bergstraße kann als ein Bild dieser naturwissenschaftlichen Disciplin betrachtet werden. Hoch über dem Allen im Zuge der Wolken erinnern endlich die großen Namen Kopernikus und Galilei, und rechts von letzterem das „Kreuz des Südens", jenes wunderbar schöne Lichtbild des tropischen Nachthimmels, an die kühne Wissenschaft der Gestirne. Mitten im strahlenden Reigen schwebt unsere Erde, und obschon an sich dunkel, zündet doch auch auf ihr die Sonne ihre Fanale, und obschon an sich eine träge Masse, „bewegt sie sich doch" geflügelt durch den unendlichen Raum.

Digitized by Google

Inhaltsverzeichniß
des ersten Bandes.

Seite

Widmung an und Schreiben von Alexander von Humboldt.
Einleitung von Hermann Masius . . . . . IX—XVI

Physik und Meteorologie. Von Karl Koppe, Professor und Oberlehrer in Soest . . . . . 1—226

Die allgemeinen Eigenschaften der Körper . . . . . 5—14
Statik fester Körper . . . . . 14—22
Statik flüssiger Körper . . . . . 22—44
Mechanik . . . . . 44—54
Anziehung in den kleinsten Formen . . . . . 55—62
Der Schall . . . . . 63—75
Das Licht . . . . . 75—127
Die Wärme . . . . . 127—172
Der Magnetismus . . . . . 173—185
Die Electricität . . . . . 185—226

Zur physikalischen Technologie. . . . . . 227—400

I. **Die Dampfmaschine.** Von C. L. Moll, Civil-Ingenieur. . . 229—320
Geschichte, Technik und Arten der Dampfmaschine . . . . 231—293
Das Dampfschiff . . . . . 294—313
Die Locomotive . . . . . 313—320

II. **Electrische Telegraphie, Galvanoplastik, Daguerreotypie und Photographie.** Von Dr. E. Hauck, Direktor der Provinzial-Gewerbeschule in Crefeld . . . . . 321—400
Einleitung . . . . . 323—324
Die electrische Telegraphie . . . . . 325—358
Frühere Versuche . . . . . 325—326
Die electrische Telegraphie der Gegenwart 327
A. Die Erzeugung des electrischen Stromes . . . . 327—331
B. Die Leitung . . . . . 331—337
C. Die Zeichengeber 337
1. Nadeltelegraphen . . . . . 337—342
2. Zeigertelegraphen . . . . . 342—347
3. Drucktelegraphen . . . . . 347—353
Die chemischen Telegraphen . . . . . 353—355
Das Gegensprechen und Doppeltsprechen . . . . . 355—357
Anwendungen der Telegraphie 358
Galvanoplastik . . . . . 359—378
Daguerreotypie und Photographie . . . . . 379—400
Einleitung . . . . . 379—384
Die ersten photographischen Versuche . . . . . 384—385
Die Daguerreotypie . . . . . 385—388
Die Talbot'sche Methode . . . . . 389—390
Die Glasbilder . . . . . 390—391
Direkte Erzeugung positiver Lichtbilder . . . . . 391—392
Uebertragung der Collodiumbilder auf andere Substanzen . . 392—393
Photographische Druckplatten . . . . . 393—396

Digitized by Google

	Seite
Farbige Lichtbilder	396—397
Anwendungen der Photographie	398—399
Nachtrag zur electrischen Telegraphie	400
Chemie und chemische Technologie. Von Dr. J. Gottlieb, Professor in Gratz	401—571
I. Die Entwickelung der neuen Chemie	403—419
Lavoisier's Verdienst	419—422
II. Die allgemeine Chemie	423—441
III. Die Metalloide	442
Der Sauerstoff	442—445
Der Wasserstoff	445—449
Der Stickstoff	449—453
Der Kohlenstoff	453—463
Die Atmosphäre	464—466
Schwefel	467—475
Selen, Tellur, Phosphor	475—478
Arsenik	478—480
Chlor	480—487
Brom, Jod	487—488
Fluor, Kiesel (Silicium)	488—489
Bor	490
IV. Die Metalle	491—492
Die alkalischen Metalle, Kalium	492—495
Natrium	495—500
Lithium, Ammonium	500—502
Calcium	502—504
Erdmetalle: Magnesium und Aluminium	504—507
Die Silikate: Glas, Thon	507—512
Schwere Metalle	512
Eisen	512—520
Das Mangan	520—521
Das Chrom, Kobalt und Nickel	521—522
Zink, Zinn	522—523
Antimon	523—524
Wismuth, Blei	524—526
Kupfer	526—528
Quecksilber	529—530
Die edlen Metalle: Silber	530—531
Platin	531—532
Gold	532—533
V. Die organischen Verbindungen	534—570
VI. Die chemischen Lebensvorgänge im Menschen	571—580

Digitized by Google

Digitized by Google

Dem

„Grossmeister der Naturwissenschaften“,

Herrn Freiherrn

Alexander von Humboldt

im Namen der Herren Mitarbeiter

und

in tiefster Verehrung

gewidmet

von der Verlagshandlung.

Digitized by Google

Digitized by Google

Schreiben Sr. Excellenz des Freiherrn Alexander von Humboldt an den Verleger bei Annahme der Dedication.

Ew. Wohlgeboren werden gütigst verzeihen, wenn ich, von den Folgen des Alters und einer auf mir laſtenden immer zunehmenden Correſpondenz bedrängt, auch Ihnen ſo ſpät erſt meinen Dank darbringe für das ehrenvolle Anerbieten, das im Namen einer Geſellſchaft von kenntnißvollen Männern Sie die Güte haben an mich zu richten. Ich erkenne nur zu ſehr den Unterſchied zwiſchen Streben (Unternehmen) und Gelingen, als daß eine perſönliche Verherrlichung, wie die, welche ich von Ihrem gelehrten Vereine erfahre, mir nicht einige Scham bereiten ſollte. Die Geduld, lange zu leben, ſage ich mir gerne, macht einen Theil und einen ſehr beträchtlichen, des erhöhten, ſich verbreitenden Rufes aus. Ich nehme aber mit Dankbarkeit Ihr gewogentliches Anerbieten an.

Die begonnene Schrift wird ein Gegengift sein für die vielen inhaltleeren populären Schriften, mit denen Deutschland mehr als die Nachbarstaaten überschwemmt sind, in denen freilich „die Begeistigung des Tannenholzes“ sich auch forterhält.

Mit der ausgezeichnetsten Hochachtung

Ew. Wohlgeboren

Berlin, 16. Nov. 1856.

gehorsamster

Al. v. Humboldt.

Einleitung.

Von

Hermann Maſius.

Digitized by Google

Digitized by Google

Die Welt ist wie ein Buch,
Das von der Hand, von der allmächtigen,
Allweisen ist geschrieben;
Ein jegliches Geschöpf
Ist wie ein Wort in diesem Buche,
Das Gottes Macht und Weisheit zeigen soll.
Da kommt denn, wie es zu geschehen pflegt,
Der Eine, sieht das Buch und blickt hinein,
Doch was die Worte, so darin geschrieben,
Bedeuten, weiß er nicht; ein Zweiter kommt
Und lobt den Zierrath dieses Buchs, den prächt'gen Band
Von Pergamen; ein Dritter preist
Die saubre schöngemalte Schrift:
Der geist'ge Mensch allein
Versteht den Sinn, der aus den Worten redet.

(Thomas von Stitny, um 1380.)

In diesem Ausspruche eines böhmischen Dichters sind klar und treffend die verschiedenen Betrachtungsweisen bezeichnet, welche das Menschengeschlecht der Natur gegenüber eingenommen. Langsam und oft in irrem Hin- und Widergang sind dieselben auf einander gefolgt. Der Sohn der Wildniß, aus dumpfer Gleichgültigkeit erwacht, sah staunend in die Welt um ihn und über ihm: er fühlte sich umweht von andern als irdischen Kräften, er ahnte das Walten göttlicher Gesetze; aber diese Ahnung schweifte in die seltsamsten Verirrungen aus. Dichtung und Mythus überwoben die Hieroglyphen des großen Naturtempels, und erst allmählich zerriß hier Zufall, dort suchender Trieb den Schleier, und einzelne Zeichen traten hervor. Es waren dürftige, doch immer bedeutsame Anfänge des Verständnisses. Die Menschheit verdankt dieselben vornehmlich zwei Völkern, von denen das eine den scharfspürenden Blick für das Kleinleben, das andere die tiefsinnige Divination für die großen kosmischen Ordnungen voraus hatte: den Chinesen und den Aegyptern. Ihre Priester zumal haben die Natur in den Kreis der Beobachtung gezogen, und noch heute überrascht die genaue Kenntniß, welche sie von einzelnen Kräften und Phänomenen gewonnen.

Den Orientalen folgten Griechen und Römer. Ein idealer Zug führte jene auf die höchsten Fragen des Geistes, die sie in oft erhabenen Philosophemen zu lösen strebten; der Natur aber schenkte ihr stets auf-

Digitized by Google

wärts blickendes Auge nur soweit Beachtung, als sie Schauplatz des Menschen und seiner Thaten war. Doch mag Xenophanes in einem gewissen Sinn schon für einen Geologen gelten, während der Ruhm die eigentliche Naturgeschichte begründet zu haben, dem Aristoteles nicht streitig gemacht werden kann. Die Römer sind auch auf diesem Felde nur die Aehrenleser ihrer Vorgänger gewesen. Ihr Geschäft war der Krieg; spärlich gedieh im Schatten der Schwerter jener Natursinn, der dann zuerst bei den Arabern des angehenden Mittelalters und, von diesen nach Europa verpflanzt, auch unter den Völkern romanischer und deutscher Zunge sein stilles Werk förderte.

Noch freilich gab es außer der Theologie überhaupt kaum eine selbständige Wissenschaft, geschweige eine Naturwissenschaft. Irrthum und Trug floß mit Wahrem zu einem abenteuerlichen Gemisch zusammen, und dieses zweifelhafte Wissen barg sich in den Zellen der Klöster oder hinter den Mauern gewerbreicher Städte. Aber seit Columbus die neue Welt erschloß, seit Guttenberg das geflügelte Wort in eherne Zeichen fesselte, seit der Stiftung der Universitäten und der Wiedererweckung der klassischen Studien, befreite sich auch die Naturwissenschaft aus den Banden des Aberglaubens und des Geheimnisses.

Raschen Schrittes folgten sich die großen Entdecker und Eroberer auf diesem Gebiete, von Kopernikus und Galilei bis auf Arago und Berzelius, Humboldt und Faraday herab. Die gebildeten Völker Europa's haben einen edlen Wettkampf des Geistes begonnen, Deutschland, England, Frankreich sind vor allen anderen Pfleger und Mehrer der neuen Wissenschaft geworden, und die ganze Welt nimmt Theil an ihrem Erwerb. Denn auch das bezeichnet die Blüthe dieser Wissenschaft, daß sie die Sprache des Volkes ehrend, in dieser selbst redet und aus Hörsälen und Schulen heraustritt auf den freien Markt, das Leben mit dem Wissen zu vermählen.

In diesem Sinne ist auch das vorliegende Werk geschrieben worden. Es soll ein populärer Versuch sein, den Laien auf anziehendem Wege einzuführen in das **Gesammtgebiet der Naturwissenschaft.** Einen Ueberblick über die einzelnen Zweige derselben, eine nähere Bekanntschaft mit den wichtigsten Erscheinungen, Kräften und Gestalten des physischen Lebens, ein Verständniß für die großen praktischen Resultate der Forschung: das war der Zweck, welchen die Verfasser erstrebten. Es ist hier nicht der Ort, von den Schwierigkeiten einer solchen Aufgabe zu reden. Der Erfolg wird lehren, ob sie überwunden worden, insbeson-

dere ob es gelang, in der Auswahl des Stoffes wie in der Form der Behandlung jene Linie zu treffen, welche dort zwischen einem Zuviel und einem Zuwenig, hier zwischen der schweren Rüstung der Demonstration und dem leichten Soccus der Unterhaltung die glückliche Mitte hält. Dagegen scheint es nöthig, in einigen Strichen die Grenzen des bearbeiteten Gebietes und zugleich die Stellung der einzelnen Naturwissenschaften anzudeuten. Geschieht Letzteres hier in einer zwanglosen und gleichsam genetischen Anordnung, so empfahl sich allerdings für die Bearbeitung selbst eine andere, auf didaktische Bedingungen begründete Reihenfolge.

Sofern die Naturwissenschaft die Erde und die Gestaltungen des auf, in und über ihr wirkenden Lebens zum Gegenstande nimmt, mußte vor Allem die Frage nach Ursprung und Bildung des Erdganzen sich aufdrängen. Schon griechische Denker stellten, angeregt durch den Fund merkwürdiger Versteinerungen, erklärende Hypothesen auf, und jener Xenophanes aus Kolophon ist vielleicht der erste Neptunist gewesen. Er meinte, der Ocean kämpfe beständig wider das Festland, und ergieße sich in gewissen Weltzeiten derartig über dasselbe, daß es in einen plastischen Thon, in einen Lehm aufgelöst werde, der erhärtend wieder zu neuen Formen sich entwickele. Aber Betrachtungen dieser Art tauchten bei den Alten nur vereinzelt auf. Es ist deutsches Verdienst, diese Fragen weiter verfolgt, strenger verkettet und zu einem wissenschaftlichen System abgeschlossen zu haben. Die **Geologie** und **Geognosie** unternahmen es zu zeigen, wie unter den feurigen Umarmungen der Elemente Urgebirge emporstiegen, wie das überfluthende Meer in engere Grenzen zurückwich und weichend junge Bildungen aufdeckte, wie immer neue Erdschichten sich über die alten hinwegstreckten, immer neue Pflanzen- und Thierschöpfungen erstanden und vergingen, und wie endlich nach einer langen Reihe von Katastrophen der Planet zu seiner jetzigen Gestalt gelangte. Allerdings ist hier dem deutenden Scharfsinn ein weites Gebiet eröffnet, und die Wissenschaft, nicht außer Gefahr sich gleichsam horizontlos zu verlieren, tritt erst da mit vollüberzeugender Sicherheit auf, wo sie aus vorgeschichtlicher in geschichtliche Zeit, wo sie von dem Philosophem zur empirischen Induktion zurückkehrt und die fertigen Naturkörper ihrer Betrachtung unterzieht.

Und damit beginnt die eigentlich beschreibende Wissenschaft (Naturbeschreibung), die sich in ein dreifaches Bereich scheidet. Denn vom Unorganischen vorschreitend zum Organischen scheint die Natur zuerst

lebloſes, ungeſchlechtiges Geſtein gebildet zu haben, des großen Baues Grundlage, dann in breit wachſender Pflanzenwelt den einzelnen Arten unendliche Selbſtzeugung zu verleihen, endlich aber den Thieren in äußerer Abſonderung des Geſchlechts Willkür der Bewegung und Handlung zu gewähren. Mit dem erſtbezeichneten dieſer Gebiete hat es die **Mineralogie** zu thun. Sie führt uns hinunter in die Tiefen, zeigt die hochgemauerten Wände der Felſen, ſchlägt die Erzader an und das Salzflötz, zieht aus verborgenen Kammern das Geſchmeide der Gnomen, oder ſucht in der Welle des Stroms das blinkende Goldkorn. In wie herrlichem Farbenſchmuck dieſe älteſten „Zeugungen der Erdveſte“ auch funkeln mögen, und ſo vollkommen auch ihre vieleckigen und mannigfach verzweigten Formen anſchießen, ſind ſie doch ohne Leben. Aber allerdings ſcheint ſich bereits in dem Kryſtall, dem Ideal aller mineraliſchen Bildungen, jene tiefwirkende räthſelhafte Kraft zu regen, welche den todten Stoff zu bewältigen und lebenzündend gegen das ſtarre Geſetz der Schwere emporzutreiben ſtrebte. Wie die ſtrengeren Kryſtallgeſtalten architektoniſche Typen nachahmen, ſo bilden eben ſo oft in ſcheinbar freierem Walten zierliche Gewächſe von Stein und Metall die Welt der Pflanzen vor, mit der die **Botanik** ſich beſchäftigt.

Mit dem Mikroſkop hat dieſe Wiſſenſchaft das Wunder des Lebens belauſcht und gezeigt, daß aus der organiſchen Zelle alles hervorgehe, was Pflanze oder Thier heißt. In den filzigen Schleimfäden der Sümpfe und in dem dürren Flechtenanflug der Felſen weiſt ſie Keim und Spur von jenem Leben nach, das die Wieſen mit buntem Teppich ſchmückt und auf den Bergen den Dom der Wälder baut. Aber der Pflanzenorganismus iſt noch gebunden an die Erde; aus den Gaſen der Atmoſphäre und den Säften der Scholle nehmen Baum und Blume ihre Nahrung, ohne Sinn und Empfinden, und ohne daß ſie vermöchten den Bann zu brechen, der ſie unbeweglich gefeſſelt hält. Das Leben der Pflanzen iſt noch in Dämmerung verſchleiert; doch iſt allen Fülle der zeugenden Kräfte und vielen lange Dauer gegeben. Obgleich der einzelnen Pflanzenart beſtimmte Luft- und Bodenverhältniſſe zuſagen, und von der üppigen Vegetation der Tropen bis zu den Polgürteln, wo nur die Zwergbirke im Winde wiegt und das Rennthier ein kümmerliches Moos aus dem Schnee hervorſchaufelt, zonenweiſe Abgrenzung ſtattfindet, ſo überſchreiten doch zahlreiche Gewächſe ihr Bereich und verſagen auch der Fremde nicht die nährende Frucht oder die erfreuende Blüthe. Während gewiſſe Pflanzen immer da ſich anſiedeln, wo der Menſch der

Digitized by Google

Natur gewichen ist, fehlt es auch nicht an solchen, die sich an seine Sohle heften und überall die lebendige Tapfe seines Fußes bilden.

Auf dem grünenden Grunde hält das Thierleben seine Weide. Es beginnt unsichtbar schon im Wassertropfen und im Staube, und schreitet in unabsehbarer Stufung zu den vollendetsten Gestalten fort. Hier ist jener Schlaf abgeschüttelt, der auf der Pflanze lag: Empfindung und Bewegung kennzeichnen den zusammengesetzten Organismus. Die Thiere sind, mit Herder zu reden, losgeschlagene „Funken eines höheren Verstandes". Sie haben ihre Gesetze und ihre Anomalien, ihre Freuden und Leiden, ihre Liebe und ihren Haß; es leuchtet aus ihnen bald klarer, bald trüber ein Wiederschein des Menschlichen hervor, der in Sprüchwort, Fabel und Dichtung den mannigfachsten Ausdruck gefunden hat und schon lange vor Lavater physiognomische Studien, aber auch physiognomische Phantasmen hervorrief. Die **Zoologie** stellt die Urformen, die Grundtypen dar, nach welchen sich diese vielgestaltige Welt entwickelt; zugleich aber zeigt sie, wie mit dem physischen Leben das psychische Hand in Hand geht, und widmet denjenigen Thieren wohl eine besondere Aufmerksamkeit, mit denen der Mensch in einen direkteren Verkehr getreten, sei es, daß er sie gleichsam zu willigen Lehensträgern gemacht, oder daß er ihre feindselige List und Stärke zu bekämpfen habe. Wie es Charakterpflanzen einzelner Völker giebt, so giebt es auch Charakterthiere, ohne welche die Bevölkerung ganzer Erdtheile, ja das gesammte Menschengeschlecht kaum vermöchte zu bestehen.

Von der bloßen Beschreibung der Naturkörper ist die Wissenschaft dazu übergegangen, die Erscheinungen, welche in und an denselben wahrgenommen werden, und die Kräfte, welche diese Erscheinungen bedingen, zu ermitteln. Das Licht, das aus goldenen Brunnen des Himmels fließt und den Tag und seine farbige Welt entzündet, die Wärme, die mit dem freundlichen Strahle so gern sich gattet und allerorten Leben weckt, der Klang, den die zitternde Saite, das geschwungene Erz erweckt und der im vielzüngigen Spiel des Echo's sich gefällt, der Zug der Winde und der Wolken, der geheimnißvolle Strom magnetischer und elektrischer Kräfte — diesen und zahlreichen andern Erscheinungen forscht die **Physik** nach.

Die Wissenschaft blieb dabei nicht stehen. Kühn gemacht durch ihre Siege, ist sie in die Werkstatt der schaffenden Kräfte selbst hinabgedrungen. Sie hat, indem sie der Natur die Waffen entlehnte, den rothen Faden, welcher die Atome der Körper verknüpft, zu lösen und die Ele-

mente der Dinge auszuscheiden versucht, wie sie andrerseits elementare Stoffe zu neuen Verbindungen zusammenruft. Nachdem Jahrhunderte lang der Adept in den Irrgängen der Magie dem großen Räthsel nachgegangen, ward aus dem Traume der Alchymie die Wissenschaft der **Chemie** geboren, die, im Besitze ihrer zwingenden Formeln, des Paktes mit der Unterwelt entrathen konnte. Ist es auch nicht geglückt Gold oder Diamanten zu präpariren, so haben Chemie und **Physiologie,** die Schwesterwissenschaften der Physik, die großen umwandelnden Prozesse, welche in der unorganischen wie in der organischen Natur walten, immer deutlicher erkannt. Denn der Haushalt der Schöpfung kennt nirgends Stillstand oder Tod. In dem Reiche des Unorganischen werden lebendige Kräfte entdeckt; die Elemente erscheinen beseelt mit eigenthümlichem Wirkungsvermögen; Licht, Wärme, Elektrizität geben sich als oberste Triebmittel organischen Schaffens kund, während in der Physiologie (der Wissenschaft von den eigentlichen Lebenserscheinungen) kaum ein Resultat oder Gesetz noch Geltung erlangt, wenn es nicht annäherungsweise in jener Bestimmtheit sich ausspricht, welche Maß und Gewicht den Lehrsätzen der Chemie und Physik verleihen. Freilich haben auch diese Wissenschaften ihre letzten undurchdringlichen Schranken; aber durch alle Forschung geht die Ahnung eines gemeinsamen Bandes, welches das Kleinste dem Größten, das scheinbar Todte dem Lebendigen gesellt.

Es leuchtet ein, daß diese großartigen Fortschritte der Wissenschaft auch auf das Leben nicht ohne den weitgreifendsten Einfluß bleiben konnten. Die wunderbaren Erfindungen auf dem Gebiete der **chemischen** und **physikalischen Technologie** haben die Gegenwart auf Eine Linie gestellt mit jener großen Aera der Entdeckungen, welche den Ausgang des Mittelalters und den Eintritt der Neuzeit bezeichnete. Ein Netz von Telegraphen kreuzt sich über Europa und spannt bereits unter der Woge des Meeres den redenden Draht aus; der Mensch hat den Blitz, den flammenden Verderber, gezähmt, und vielleicht ist die Zeit nicht allzufern, wo er mit feuriger Zunge von Erdtheil zu Erdtheil spricht. Der eingekerkerte Dampf des Wassers treibt die Wagenburg gleich einer rollenden Stadt auf der eisernen Bahn dahin, beflügelt das Seeschiff, daß es sturmestrotzig die Fluth durchzieht, leiht dem Gewerbe Tausende von Lastträgern und Arbeitern, die, gehorsame Sklaven, auf Einen Wink die rasselnden Glieder regen und in ehernem Rhythmus auf- und niedersteigen. Unter ihrem zermalmenden Fußtritt

ächzt der Metallblock, ihre vielgelenkige Hand zerreißt die Wolle, zwirnt den Faden, spinnt das Luftgewebe des Schleiers. Man erinnere sich ferner der Galvanoplastik, welche die Marmorbüste sich selbst in metallenem Nachbilde verdoppeln läßt, treuer als Menschenhand es vermöchte; der Daguerreotypie, welche den Lichtelf gleichsam in der Falle fängt, daß er mit zauberkräftigem Finger und in Augenblickesschnelle — wie durch ein geheimes Abrakadabra — auf die Platte zeichnet, was man ihm vorhält; der Gasbereitung, die aus der schwarzen Steinkohle einen Lichtstrom zieht, der unsere Nächte taghell erleuchtet. Man erinnere sich der immer kunstreicheren und vollständigeren Gewinnung und Ausbeutung der Kohlen und Erze, der zahllosen Fabriken jeder Art; und es bedarf nach alle Dem gewiß keiner Rechtfertigung, wenn auch diesen technischen Errungenschaften in dem vorliegenden Werke eine Stelle gegeben worden ist. Nur, daß auch hier wie überall die Darstellung sich auf das Wichtigste beschränkt.

Aber der Kreis der Naturwissenschaften vollendet sich erst, wenn der Blick über die Erde wegstrebend diese selbst in ihrem Zusammenhange und Zusammenklange mit dem Universum begreift. Die Erde, ein Stern unter Sternen, vom Arm des Ewigen hinausgerollt in den Weltraum und dort in leuchtenden Kreisen sich schwingend, um sie her der Himmel mit seinen Sonnen und Monden, mit seinen Kometen, Planeten und all den Myriaden Lichtsphären, die seit Anbeginn die ungestörte Bahn durchwandeln — auch dies unendliche Reich ist eine Provinz der Naturwissenschaft. Schon die Urbewohner jener Deltaländer im Osten mit ihren weiten Ebenen und dem wolkenlosen Firmamente, die alten Babylonier, Aegypter u. s. w. erkannten ein Gesetz in den Bewegungen der Gestirne, und die wechselnden Bilder des Himmels bedeuteten ihnen Uhr, Kompaß, Kalender — kurz, die Regulatoren ihres Lebens. Was bei diesen Völkern nur fragmentarisch unsichere Kenntniß war, versuchten griechische Philosophen zur Wissenschaft zu erheben. Der Pythagoräer Philolaus sprach bereits aus, daß die Sonne mit allen Planeten ein großes Centralfeuer umkreise, welches er in poetischem Ausdruck den Heerd des Weltalls, die Burg des Zeus, den letzten Zusammenhalt und das Maß der Natur nannte. Hiketas von Syrakus erkannte die Achsendrehung der Erde, ihm folgte Heraklides aus Pontus, bis endlich im Alexandrinischen Zeitalter der Samier Aristarch mit dem Instinkte des Genies zuerst das kopernikanische System, wenn auch nur vermuthend, aufstellte. Doch als sei dieser Gedanke zu kühn für seine Zeit gewesen,

— er war es noch im Jahre 1633 nach Christus — beschuldigte man ihn der Gottesleugnung: denn „er habe die heilige Ruhe der Erde und der Laren gestört“. Die alexandrinische Schule ging unter, mit ihr die Wissenschaft, welche sie gepflegt. An die Stelle berechnender Forschung trat dichtender Aberglaube, der hier mehr als irgendwo ein ergiebiges Feld fand. Wie der Patagonier in der Milchstraße den Pfad zu sehen meint, auf dem die Geister der Rothhäute den Strauß und die Antilope jagen, so erblickte noch das mittelalterliche Europa in den Sternen eine auf Seele und Schicksal der Lebenden entweder freundlich oder feindlich wirkende Macht. Es war die Astrologie die mystische Ahnfrau der **Astronomie.** Nachdem aber bereits mit dem beginnenden 15. Jahrhundert richtigere Anschauungen gewonnen waren und erneutes Studium die Entdeckungen der Alten aus der Vergessenheit hervorgezogen, gab Kopernikus der Sternkunde ihre bleibenden und unerschütterlichen Grundlagen, und mit dem Fernrohr gewaffnet, das entsiegelte Auge furchtlos, doch ehrfürchtig emporgehoben, trat sie endlich selbst an der Scheide des 16. Jahrhunderts in ungeahnter Größe hervor.

Indem so die Naturwissenschaft den ganzen Umkreis des Kosmos, vom Stäubchen zu unseren Füßen bis zu den Welten über unserem Haupte in gleicher Weise umfaßt, gewahrt sie allenthalben die Wunderspur einer göttlichen Weisheit, und aus Höhen und Tiefen vernimmt sie den Wiederhall jenes Chorgesanges der Sphären, der einst durch Davids Seele tönte:

Die Himmel erzählen die Ehre Gottes,
und die Veste verkündigt seiner Hände Werk.

Digitized by Google

Physik und Meteorologie.

Von

Karl Koppe,

Professor und Oberlehrer in Soest.

Während die Naturgeschichte die einzelnen, unserer Erde angehörenden Naturkörper kennen lehrt, beschäftigt sich die **Naturlehre** oder **Physik** mit den Eigenschaften, welche den Naturkörpern überhaupt, den organischen sowohl, als den anorganischen, zukommen, mit den Veränderungen, welche dieselben durch ihre gegenseitige Einwirkung erleiden, und mit den Gesetzen, welchen diese Veränderungen unterworfen sind.

Wenn diese Veränderungen blos einzelne Merkmale betreffen, wenn z. B. die in die Lage von Westen nach Osten gebrachte Magnetnadel, sobald sie frei gelassen worden, sich in die Lage von Norden nach Süden bewegt, wenn ein Federball bei ausgeübtem Drucke eine Aenderung seiner Gestalt erfährt, bei nachlassendem Drucke dieselbe wieder herstellt, wenn bei erhöhter Temperatur ein Körper sich ausdehnt, bei verminderter Temperatur sich zusammenzieht, also seine Größe verändert, wenn beim Erwärmen Eis sich in flüssiges Wasser und dieses in Dampf verwandelt, wenn überhaupt der Zusammenhang der Theile eines Körpers sich in der Art ändert, daß derselbe aus dem festen in den flüssigen, aus dem flüssigen in den luftförmigen

Digitized by Google

Zustand übergeht, wenn die wasserhellen Regentropfen in Folge der Brechung der Sonnenstrahlen in denselben in bunter Farbenpracht sich zeigen, so gehören diese und ähnliche Erscheinungen, da bei denselben nur einzelne Merkmale der Körper, als Lage, Gestalt, Größe, Zusammenhang der Theile, Farbe u. dgl. eine Aenderung erfahren, recht eigentlich der Physik an.

Wenn aber eine derartige Umwandlung erfolgt, daß ein neuer, von den schon vorhandenen verschiedener Körper hervorgeht, wenn z. B. durch das Zusammenreiben von Quecksilber und Schwefel Zinnober hervorgebracht wird, so wird dieser Proceß nicht mehr zur Physik im eigentlichen oder engern Sinne, sondern zur Chemie gerechnet, da hier Quecksilber und Schwefel sich zu einem dritten, von beiden verschiedenen Körper, Zinnober, verbunden haben.

Aufs innigste dagegen mit der Physik verschmolzen ist die **Meteorologie,** welche von den Erscheinungen handelt, welche ohne menschliche Einwirkung die Natur im Großen hervorbringt. Da diese Erscheinungen, die so genannten Meteore, die nehmlichen Gesetze, wie alle anderen physikalischen Processe befolgen, so werden wir auch dieselben nicht getrennt in einem besondern Abschnitte, sondern im Zusammenhange mit den allgemeinen Naturgesetzen vortragen, welchen sie unterworfen sind.

Die Aufgabe der Physik beschränkt sich aber nicht bloß darauf, eine übersichtliche Kenntniß der Erscheinungen zu gewähren; der denkende Geist verlangt von derselben auch noch die Erklärung der Erscheinungen, die Entwicklung der Gründe, auf denen die Erscheinungen beruhen. Wir nennen jedoch eine Naturerscheinung schon dann erklärt, wenn wir im Stande sind, dieselbe auf ein allgemeines Gesetz zurückzuführen. Denn die letzten Ursachen der Erscheinungen vermögen wir nicht zu erforschen.

Wir beobachten z. B., daß alle Körper, welche wir auf unserer Erde antreffen, das Bestreben haben, sich dem Mittelpunkte derselben zu nähern, entweder wirklich fallen, wenn sie sich selbst überlassen sind, oder wenn sie hieran durch eine Unterlage verhindert sind, auf diese einen Druck ausüben. Wir schreiben die Ursache dieser Erscheinung einer besonderen Kraft zu, welcher wir den Namen Schwere beilegen. Worin aber eigentlich diese Kraft besteht, welches das Wesen derselben ist, vermögen wir nicht anzugeben.

Ueberhaupt bezeichnen wir mit dem Namen Kräfte die uns unbekannten Ursachen, durch welche unter gewissen Bedingungen Bewegungen hervorgerufen werden. So sprechen wir von der Kraft des Magnetismus, der Electricität u. dgl. und schreiben denselben gewisse Wirkungen zu; wir sind jedoch nicht im Stande, diese Kräfte selbst aufzuweisen; wir schließen nur auf das Vorhandensein derselben aus bestimmten Erscheinungen, welche wir beobachten, und weil wir uns keine Erscheinung als etwas rein Zufälliges, sondern nur als die Wirkung einer bestimmten Ursache denken.

Vermögen wir nicht das Wesen der Dinge, aus welchem die Erscheinungen fließen, zu ergründen; so können wir uns doch die Aufgabe stellen, die Gesetze zu ermitteln, denen dieselben unterworfen sind. Aber auch hier gelangen wir nie vollständig ans Ziel. Theils eröffnen uns die Fortschritte der Wissenschaft neue Gebiete des Forschens; theils sind die bereits gewonnenen Resultate der Verbesserung, Vervollständigung und Vervollkommnung fähig und bedürftig.

Wenn wir auch annehmen dürfen, daß der Schöpfer die Natur nach vielleicht ebenso einfachen, als erhabenen Gesetzen geordnet hat, so sind wir

Digitized by Google

doch von der Kenntniß dieſer Geſetze ſelbſt noch unendlich entfernt. Unſere ſogenannten Naturgeſetze ſind immer nur ein höchſt unvollkommener Ausdruck der wirklich ſtattfindenden Erſcheinungen. Die Natur iſt nach ſo erhabenen Verhältniſſen geregelt, nach einem ſo großartigen Maaßſtabe gebaut, daß wir auch ſelbſt nur in dem kleinſten Theile dieſelbe nicht vollſtändig auszumeſſen vermögen. Wenn einerſeits hierzu die Wunder der Welt im Kleinen, welche uns durch die in neuerer Zeit in großer Vollkommenheit ausgeführten Mikroſcope aufgeſchloſſen worden iſt, in Körperchen, welche ſich durch ihre Kleinheit der Wahrnehmung durch das unbewaffnete Auge gänzlich entziehen, zahlreiche Belege liefern, ſo erweiſen ſich andererſeits auch die Vorgänge, welche wir für gewöhnlich an der uns umgebenden Körperwelt beobachten, ſelbſt die anſcheinend einfachſten Veränderungen, welche in dieſer vorgehen, wenn wir dieſelben einer gründlichen und tiefer eingehenden Betrachtung unterwerfen, allemal unendlich verwickelter, als daß wir ſie vollſtändig durch ein erſchöpfendes Geſetz auszudrücken vermöchten.

Eine der alltäglichſten Erſcheinungen iſt das Fallen nicht unterſtützter Körper; wir finden in den phyſikaliſchen Lehrbüchern in dem dieſer Erſcheinung gewidmeten Abſchnitte allerdings Geſetze des Falles aufgeführt. Aber dieſe Geſetze gelten nur für einen hypothetiſchen Fall unter der Vorausſetzung beſchränkender Bedingungen, wie ſie die Natur nie und nirgends kennt. Die Bewegung irgend eines fallenden Körpers in der Wirklichkeit iſt eine ſo verwickelte Erſcheinung, es findet in derſelben ein Zuſammenwirken ſo mannigfaltiger Naturkräfte ſtatt, daß wir nicht hoffen dürfen, jemals dahin zu gelangen, die Geſetze dieſer ſo alltäglichen und anſcheinend ſo einfachen Erſcheinung vollſtändig und erſchöpfend zu entwickeln.

Die Geſchichte der Wiſſenſchaft liefert uns ferner zahlreiche Beiſpiele, daß Geſetze, welche bei ihrer erſten Entdeckung als unbedingt giltig aufgeſtellt worden ſind, ſich ſpäter nur als Annäherungen an die Wahrheit erwieſen haben. Eins der fruchtbarſten Geſetze, das im Jahre 1660 von Boyle entdeckt worden iſt, gewöhnlich aber nach Mariotte genannt wird, daß die luftförmigen Körper in gleichem Verhältniſſe mit der drückenden Kraft ihr Volumen verändern, ein Geſetz, welches die Grundlage für die Erklärung eben ſo zahlreicher, als wichtiger Erſcheinungen bildet, verliert dennoch für alle Gaſe ohne Ausnahme, wie neuere Unterſuchungen gezeigt haben, ſeine Giltigkeit, wenn der Druck eine gewiſſe Grenze überſchreitet, und erweist ſich bei ſtrenger Prüfung auch für einen mäßigen Druck nicht als vollkommen genau, ſondern nur als annähernd richtig.

Es gewähren überhaupt die in neuerer Zeit in allen Zweigen der Phyſik gemachten reichen Fortſchritte nicht blos die Kenntniß neuer Erſcheinungen, die Aufdeckung bis dahin unbekannter Naturkräfte; ſie führen ebenſo zur Berichtigung und genauern Erforſchung der nach einem früheren Standpunkte der Wiſſenſchaft aufgeſtellten Naturgeſetze.

Unſere Aufgabe ſoll es nun ſein, die wichtigeren Erſcheinungen und Geſetze nach dem Standpunkte, welchen gegenwärtig die Wiſſenſchaft erreicht hat, mit Berückſichtigung der neueſten Entdeckungen unſern Leſern vorzutragen.

Wir behandeln demgemäß zuerſt

die allgemeinen Eigenſchaften der Körper.

Die Eigenſchaften, welche wir an den Naturkörpern wahrnehmen, ſind theils allgemeine, welche allen Körpern und unter allen Umſtänden zu-

Allgemeine Eigenschaften.

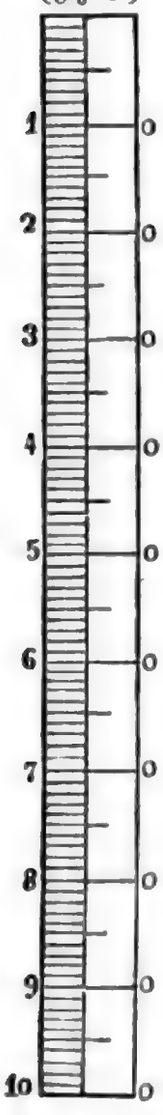
kommen, theils besondere, welche die Körper nur unter gewissen Bedingungen zeigen, oder die überhaupt nur an gewissen Körpern angetroffen werden. Die allgemeinen Eigenschaften zerfallen wieder in nothwendige, nehmlich Ausdehnung und Undurchdringlichkeit, ohne welche wir uns einen Körper gar nicht denken können, und in zufällige, nehmlich Porosität, Theilbarkeit, Beweglichkeit und Schwere, welche zwar auch bei allen uns bekannten Körpern vorkommen, während es doch nicht geradezu undenkbar ist, daß noch einmal ein Körper aufgefunden würde, welchem die eine oder die andere dieser letztern Eigenschaften fehlte.

Ausdehnung.

Unter Ausdehnung versteht man die Eigenschaft, daß jeder Körper einen Raum einnimmt. Wir unterscheiden in dieser Hinsicht die Gestalt und Größe des Körpers. So unendlich mannigfaltig die Gestalten der verschiedenen Naturkörper sind, nicht minder verschieden zeigen sich dieselben in Hinsicht ihrer Größe. Der größte aller bekannten Naturkörper ist die Sonne, deren Durchmesser 192,000 Meilen übersteigt; zu den kleinsten, durch Vergrößerungsgläser noch wahrnehmbaren Naturkörpern gehören die Infusionsthierchen, deren oft Tausende in einem Tröpfchen Wasser umherschwimmen.

Doch nicht blos bei den größten und kleinsten, auch bei allen andern Naturkörpern, Thieren, Pflanzen und Mineralien, welche durch hervorragende Eigenschaften unser Interesse erregen, verlangen wir, besonders wenn wir dieselben nicht durch unmittelbare Anschauung, sondern nur durch Beschreibung kennen lernen, eine nähere Angabe über die Größe derselben.

(Fig. 1.)



Neu-französisches Maaß.

Zur Bestimmung der Größe eines Körpers führt die Abmessung der Länge, Breite und Höhe desselben. Die hierzu dienenden Maaße sind jedoch sehr verschieden, indem fast in jedem Land und Ländchen ein eigenthümliches, von andern abweichendes Maaß gebräuchlich ist, woraus dann die große Unbequemlichkeit entspringt, daß die nach irgend einem Landesmaaße ausgedrückten Größenbestimmungen, wenn sie für die Bewohner eines andern Landes verständlich sein sollen, in der Regel von diesen erst durch eine lästige und zeitraubende Rechnung in das gebräuchliche und bekannte Maaß umgesetzt werden müssen.

Um diesen vielfach gefühlten Uebelständen zu begegnen, stellte sich gegen Ende des vorigen Jahrhunderts die französische Regierung die Aufgabe, ein natürliches und allgemein giltiges Maaß, ohne Beengung irgend einer Nationalität, einzuführen, und nach Ausführung genauer Gradmessungen wurde der 10millionste Theil des nördlichen Meridianquadranten (also der 40millionste Theil eines ganzen Meridians) als Längeneinheit angenommen und mit dem Namen Meter bezeichnet. Der 10te Theil des Meters wird Decimeter, der 10te Theil des Decimeters, als der 100ste Theil des Meters, wird Centimeter, und der 10te Theil des Centimeters, als der 1000ste Theil des Meters, wird Millimeter genannt. 1000 Meter aber führen den Namen Kilometer. Die nebenstehende Figur 1 stellt einen in Centimeter und Millimeter getheilten Decimeter dar. 400 Millionen solcher Decimeter würden also zusammen einen Meridian der Erde ausmachen.

Digitized by Google

Obschon nun dieses neuere französische Maaß gegenwärtig bei wissenschaftlichen Bestimmungen vorzugsweise angewandt wird, so hat dasselbe doch noch kaum in Frankreich allgemeinen Eingang, viel weniger in andern Ländern für den bürgerlichen Verkehr Verbreitung gefunden. Wir werden uns daher, um unseren Lesern ein leichteres Verständniß und größere Anschaulichkeit zu gewähren, neben jenem Maaße auch des besonders früherhin in naturwissenschaftlichen Angaben sehr gebräuchlichen, älteren französischen Maaßes bedienen, bei welchem der Pariser Fuß (= 325 Millimeter) in 12 Zoll, der Zoll in 12 Linien getheilt, die Länge von 6 Fuß aber eine Toise genannt wird. Obschon die in anderen Ländern gebräuchlichen Fußmaaße mit dem älteren französischen Fuße nicht genau übereinstimmen, so ist doch der Unterschied mehrentheils nicht so groß, daß eine Verwechselung des einen mit dem andern Maaße, wo es sich nicht um absolute Genauigkeit, sondern nur um eine ohngefähr richtige Schätzung handelt, wesentliche oder erhebliche Irrthümer veranlassen dürfte.

(Fig. 2.)

Die nebenstehende Figur 2 zeigt die Länge von 6 Pariser Zollen, deren jeder in 12 Linien getheilt ist. Die folgende Tabelle aber kann zur Vergleichung einiger der gebräuchlichsten Fußmaaße verschiedener Länder dienen:

Aelteres Pariser Maaß.

1 Pariser Fuß	= 325	Millimeter.
1 rheinländischer oder preußischer Fuß	= 314	"
1 Wiener Fuß	= 316	"
1 Würtembergischer Fuß	= 286	"
1 Bairischer Fuß	= 292	"
1 Hessen-Darmstädtischer Fuß . . .	= 250	"
1 Badenscher Fuß	= 300	"
1 Englischer und Russischer Fuß . .	= 305	"
1 Schwedischer Fuß	= 297	"
1 Dänischer Fuß	= 314	"

Undurchdringlichkeit.

Der Raum, in welchem sich ein Körper befindet, kann nicht zugleich von einem andern Körper eingenommen werden. Man nennt diese Eigenschaft Undurchdringlichkeit. Ein Körper kann wohl aus dem von ihm eingenommenen Raume durch einen andern Körper verschoben, nach einer andern Stelle hin getrieben werden, so daß dieser jetzt an die Stelle des erstern tritt; aber niemals ist es möglich, daß zwei Körper sich zu gleicher Zeit in dem nehmlichen Raume befinden. Ist ein Körper, auf welchem ein Druck ausgeübt wird, am Ausweichen verhindert, so kann derselbe wohl in einen engern Raum zusammengepreßt werden; so läßt sich z. B. die Luft in einem Cylinder durch einen dicht anschließenden Kolben vermöge eines auf diesen ausgeübten Druckes in einen engeren Raum zusammenpressen, welcher sich um so mehr vermindert, je größer der ausgeübte Druck ist; aber immer wird noch ein von der verdichteten Luft in dem Cylinder eingenommener Raum, wenn der Kolben vollkommen dicht anschließt, so daß keine Luft seitwärts entweichen kann, übrig bleiben; niemals ist es möglich, den Kolben bis auf den Boden nieder zu pressen.

(Fig. 3.)

Wenn man ein Licht auf Wasser zum Schwimmen bringt, über dasselbe eine gläserne Glocke, wie dieß Fig. 3 zeigt, stürzt, so kann man die Glocke bis auf den Boden des Gefäßes niederdrücken und das Licht bis unter die Oberfläche des Wassers im Gefäße einsenken, indem die in der Glocke enthaltene Luft dem Eindringen des Wassers Widerstand leistet. (Das Licht wird jedoch allmählig immer schwächer brennen, da es den Sauerstoff der abgesperrten Luft verzehrt, und nach einiger Zeit auslöschen.)

Auf ähnlichem Principe, wie der eben beschriebene Versuch beruht die Taucherglocke. Diese besteht am zweckmäßigsten aus einem geräumigen, unten offenen eisernen Kasten, welcher vermöge eines am obern Boden befestigten Seiles in das Meer hinabgelassen wird. Je tiefer die Glocke niedersinkt, um so höher steigt auch das von unten eindringende Wasser in derselben, über welchem sich jedoch immer noch ein mit Luft erfüllter Raum befindet. In der Glocke sind Bänke zum Sitzen für die in derselben befindlichen Personen, und im Deckel derselben sind starke Glasplatten angebracht, um Licht einzulassen. Da die Luft durch das Athmen bald verdorben werden würde, so führt vom Deckel der Glocke bis zur Oberfläche des Meeres ein Schlauch, durch welchen vermittelst einer Druckpumpe beständig frische Luft eingepumpt wird. Hat diese den ganzen Raum der Glocke ausgefüllt, so entweichen bei fortgesetztem Pumpen Luftblasen am untern Rande der Glocke. Indem auf diese Art sich die Luft beständig erneuern läßt, können Arbeiter mehrere Stunden auf dem Meeresboden verweilen und aufgetragene Arbeiten verrichten.

Das den Raum, welchen ein Körper einnimmt, Erfüllende, welches es unmöglich macht, daß zwei Körper sich zugleich in dem nehmlichen Raume befinden, nennen wir Materie und die wirklichen Körper, die Naturkörper, werden daher auch materielle zum Unterschiede von den blos gedachten mathematischen Körpern genannt.

Porosität. In keinem Naturkörper ist jedoch der von demselben eingenommene Raum vollständig mit Materie ausgefüllt; in allen Körpern giebt es leere Zwischenräume, welche man Poren nennt. Bei manchen Körpern, wie z. B. bei einem Schwamme sind dieselben schon dem bloßen Auge sichtbar, bei andern zeigen sich die Poren bei der Betrachtung durch Vergrößerungsgläser. So zeigt z. B. die menschliche Haut unter dem Mikroskope auf dem Raume eines Quadratzolles mehr als tausend Poren. Auch andere Erscheinungen weisen uns das Vorhandensein von Poren in den Körpern nach. Holz und viele Steine nehmen, wenn sie im Wasser liegen, von diesem in ihre Poren auf und vermehren hierdurch ihr Gewicht. Bei starkem Drucke läßt sich Wasser selbst durch Metalle hindurchpressen. Die Mitglieder der Academie zu Florenz füllten im Jahre 1661 hohle goldene Kugeln mit Wasser, schroben dieselben mit einem Deckel zu und lötheten denselben fest. Als hierauf die Kugeln stark zusammengepreßt wurden, bedeckte sich die ganze Oberfläche der-

selben mit feinen Wassertröpfchen. Der nehmliche Versuch ist später mit andern Metallen und gleichem Erfolge wiederholt worden.

Daß auch im Wasser und andern Flüssigkeiten mit Luft erfüllte Poren vorhanden sind, zeigen die beim Erwärmen aufsteigenden Luftbläschen.

Vermöge der in den Körpern vorhandenen Poren können dieselben in einen engeren Raum zusammengepreßt werden. Am leichtesten gelingt dies bei der Luft, welche bei mäßigem Drucke fast in demselben Verhältniß ihr Volumen vermindert, in welchem ein auf dieselbe ausgeübter Druck zunimmt. Wasser und andere Flüssigkeiten geben auch dem stärksten Drucke sehr wenig nach. Feste Körper zeigen in dieser Hinsicht, je nachdem sie mehr oder weniger porös sind, ein verschiedenes Verhalten. Schwämme, Papier, Leder, gewebte Zeuge, Holz lassen sich leicht zusammenpressen; bei hinreichend starkem Druck vermindern aber auch sehr dichte Körper ihren Raumesinhalt. So werden z. B. Metalle beim Hämmern verdichtet. Ebenso zeigen Münzen nach dem Prägen in Folge des hierbei auf dieselben ausgeübten heftigen Stoßes ein geringeres Volumen, als sie vorher besaßen.

Körper, welche durch einen Druck eine Veränderung ihrer Gestalt erfahren haben, streben meist dieselbe mit mehr oder weniger Kraft wieder herzustellen. Man nennt diese Eigenschaft **Elasticität**. Die vollkommenste Elasticität besitzt die Luft, welche sich mit der nehmlichen Kraft, mit welcher sie zusammengedrückt worden ist, wieder auszudehnen strebt. Unter den festen Körpern sind Kautschuk (Gummi elasticum), Elfenbein, Stahl, Messing u. a. m. im hohen Grade elastisch. Elasticität.

Unter allen elastischen Körpern findet besonders der Stahl die mannigfaltigsten Anwendungen. Die Stahlfedern, mit welchen wir schreiben, verdanken ihrer Elasticität diesen nützlichen Gebrauch. Andere sehr bekannte Beispiele sind die Springfedern in Polstern, die Federn in den Schlössern, Taschenmessern, in Taschen- und Tafeluhren, in denen eine spiralförmig gewundene Feder, welche vermöge ihrer Elasticität sich aufzurollen strebt, das Räderwerk in Bewegung setzt.

(Fig. 4.)

Ein anderes Beispiel, bei welchem wir etwas ausführlicher verweilen wollen, ist die **Federwage**. Fig. 4 zeigt eine sehr gewöhnliche Einrichtung derselben. In einem hohlen Cylinder ist eine elastische Feder angebracht, welche mit ihrem untern Ende gegen den Boden der Röhre, mit ihrem obern Ende gegen das ausgebreitete Ende einer dünnen Stange drückt, welche durch den untern Boden hindurchgeht und an ihrem hervorragenden Ende in einen Haken ausläuft, an welchem sich die abzuwägende Last anhängen läßt. Je größer das Gewicht dieser Last ist, um so mehr wird die elastische Feder zusammengedrückt, und um so größer ist auch der durch den untern Boden hervortretende Theil der Stange, welche nach einer auf derselben angebrachten Eintheilung die Größe des Gewichtes der angehängten Last anzeigt.

Diese Wagen werden besonders dadurch bequem, daß man sie so leicht mit sich führen kann, gewähren aber nur einen geringen Grad von Genauigkeit.

Alle Körper lassen sich **theilen** und die erhaltenen Theile wieder in kleinere Theile zerlegen. Von hohem Interesse ist die Frage, ob sich die Theilung ins Unendliche fortsetzen läßt, ob die Materie ohne Ende theilbar ist, oder ob in der Materie kleinste Theilchen existiren, welche absolut un- Theilbarkeit.

Digitized by Google

theilbar sind. Auf diese Frage können wir nur antworten, daß noch Niemand, wie weit auch auf künstlichem Wege die Theilung getrieben wurde, auf Theilchen gestoßen ist, welche nicht noch weiter hätten getheilt werden können. Dennoch bleibt es immer möglich, daß die Materie aus kleinsten, nicht weiter theilbaren Theilchen, so genannten Atomen zusammengesetzt ist, welche wegen ihrer Kleinheit sich der Wahrnehmung unserer Sinne entziehen, auch durch das Mikroskop bei den stärksten Vergrößerungen, welche wir anzuwenden vermögen, nicht sichtbar werden.

In wie hohem Grade die Materie wirklich theilbar ist, mögen folgende Beispiele zeigen. Es ist bekannt, daß ein Ducaten ausreicht, eine Reiterstatue zu vergolden. So vielmal nun die Fläche des Ducatens in der Oberfläche der Statue enthalten ist, ebenso vielmal muß auch die Dicke der Vergoldung kleiner, als die Dicke des Ducatens sein.

Bei der Anfertigung des sogenannten Golddrathes, wie er zu den Lyoner Spitzen verwandt wird, wird zunächst eine Silberstange vergoldet und dann zu feinem Drathe ausgezogen. Réaumur berechnete aus der Menge des verbrauchten Goldes und aus der Dicke und Länge des erhaltenen Drathes, daß die Dicke der den Drath überkleidenden Goldschicht noch nicht den 300,000sten Theil einer Pariser Linie betrug, und dennoch erwies sich die Vergoldung auch bei der stärksten Vergrößerung, welche das Mikroskop gewährte, als eine zusammenhängende, durch keine Lücken unterbrochene Fläche. Existiren also wirklich Atome, so muß ihr Durchmesser noch kleiner, als die eben angegebene Größe sein.

So außerordentlich weit getrieben auch die Theilung in dem eben angeführten Beispiele erscheint, so wird dieselbe doch noch durch die Feinheit der Theilchen, welche von riechenden Stoffen ausströmen, übertroffen. Bringt man in ein Zimmer ein Stückchen Moschus nur von der Größe eines Hirsekorns, so verbreitet sich der Geruch nach Moschus schnell durch das ganze Zimmer und dauert fort, selbst wenn die Luft in diesem mehrmals gewechselt wird. Nehmen wir an, daß das Zimmer 25 Fuß lang, 20 Fuß breit und 15 Fuß hoch ist, so beträgt der Rauminhalt desselben über zwölf Millionen Kubikzoll, und dennoch dürften in jedem Kubikzoll Luft, welcher beim Einathmen unsern Geruchssinn afficirt, Theilchen Moschus enthalten sein.

Das eben Ausgeführte zeigt uns zugleich, wie der Geruchssinn an Empfindlichkeit alle andern Sinne übertrifft und uns das Vorhandensein von Körpertheilchen nachweist, welche wir durch die übrigen Sinne, auch den so feinen Gesichtssinn, selbst bei der künstlichen Unterstützung durch vergrößernde Gläser nicht wahrzunehmen vermögen. Wie wohlthätig der Schöpfer auch durch diesen, vielleicht von Vielen gering geachteten Sinn für uns gesorgt hat, möge die Erinnerung daran belegen, daß oft der Gefahr eines drohenden Brandes, einer Erstickung in einem Raume, in welchem das Auge keine veränderte Beschaffenheit der Luft wahrnimmt, durch die eigenthümliche Affection des Geruchssinns vorgebeugt wird.

Die oben angeführten und andere Beispiele einer außerordentlich feinen Zertheilung der Materie, beweisen jedoch noch nicht, daß die Materie ohne Ende theilbar ist. Vielmehr sprechen gewisse Erscheinungen im Gebiete der Chemie dafür, daß alle Körper aus nicht weiter zerlegbaren Theilchen, Atomen, bestehen. Bemerken müssen wir jedoch, daß die Atome, wenn sie wirklich existiren, für unsere Sinne nicht wahrnehmbar sind, daß noch kein Physiker Atome beobachtet oder auf dem Wege der Erfahrung nachgewiesen hat.

Digitized by Google

In Hinsicht des Widerstandes, welchen die Körper der Trennung ihrer Theile entgegensetzen, unterscheiden wir feste, flüssige und luftförmige Körper. Diese Verschiedenheit kann jedoch keine Eintheilung begründen, da der nehmliche Körper alle drei Zustände durchlaufen kann. So zeigt sich uns das Wasser bei niedrigen Temperaturen im festen Zustande, als Eis, bei der gewöhnlichen Lufttemperatur im flüssigen Zustande und bei erhöhter Temperatur im luftförmigen Zustande, als Dampf. Eben so lassen sich auch andere Körper, die meisten Metalle, Schwefel u. a. m. durch alle drei Zustände hindurchführen. Wenn dies noch nicht bei allen Körpern gelungen ist, so mag es zum Theil daran liegen, daß wir nicht im Stande sind, die erforderliche Temperatur hervor zu bringen; zum Theil auch erleiden viele Körper in höheren Temperaturen eine chemische Umwandlung. So läßt sich z. B. Holz nicht schmelzen, da dasselbe in der Hitze in seine chemischen Bestandtheile zerfällt. Aggregatszustand.

Man bezeichnet die Verschiedenheit des festen, flüssigen und luftförmigen Zustandes mit dem Namen des Aggregatzustandes.

Manche luftförmige Körper gehen schon bei einer mäßigen Temperaturerniedrigung oder bei vermehrtem Druck aus dem luftförmigen Zustande in den flüssigen über. Man nennt diese gewöhnlich Dämpfe. Ein bekanntes Beispiel bietet der Wasserdampf dar. Andere luftförmige Körper (z. B. Kohlensäure) erleiden diese Veränderung erst bei sehr starkem Drucke oder sehr niedriger Temperatur, und bei einigen, wie z. B. bei der atmosphärischen Luft, ist es überhaupt noch nicht gelungen, die zu dieser Umwandlung erforderlichen Bedingungen herzustellen. Man giebt diesen gewöhnlich den Namen Gase. Zwischen Dämpfen und Gasen findet also kein wesentlicher Unterschied, sondern nur die Verschiedenheit statt, daß wir Körper der ersten Art seltener im luftförmigen, häufiger im flüssigen Zustande, letztere dagegen gewöhnlich nur in diesem antreffen.

Eine weitere allgemeine Eigenschaft der Körper ist die Schwere. Alle Körper, welche wir auf unserer Erde antreffen, sind schwer, d. h. sie haben das Bestreben, sich nach unten, nach dem Mittelpunkte der Erde hin zu bewegen, und wenn sie durch eine Unterlage hieran verhindert sind, üben sie auf dieselbe einen Druck aus. Man nennt diesen Druck das Gewicht der Körper. Schwere und Gewicht verhalten sich daher wie Ursache und Wirkung. Das Gewicht eines Körpers dient uns zugleich als Maaß der Masse desselben, d. h. der Menge der in dem Körper enthaltenen Materie, indem es uns an jedem anderen Mittel zur Bestimmung dieser Größe fehlt. Haben zwei Körper bei gleichem Raumesinhalt ein verschiedenes Gewicht, also ungleiche Masse, so nennt man denjenigen, welcher ein größeres Gewicht besitzt, den dichteren. Schwere.

Die größte Dichtigkeit unter allen bekannten Körpern besitzen die Metalle und unter diesen gehören wieder Platin und Gold zu den am meisten dichten. Platin ist ohngefähr 21mal, Gold 19mal so dicht als Wasser, mit welchem man überhaupt in Beziehung auf die Dichtigkeit alle andern Körper zu vergleichen pflegt. Ein Kubikzoll Platin wiegt also 21mal, ein Kubikzoll Gold 19mal so viel, als ein Kubikzoll Wasser.

Die geringste Dichtigkeit besitzen die luftförmigen Körper. Die atmosphärische Luft ist 770mal leichter als Wasser und das Wasserstoffgas, der leichteste aller bekannten Körper, ist noch 14mal leichter, als atmosphärische Luft.

Soll ein Körper am Fallen verhindert werden, so muß derselbe, wie schon oben bemerkt, in irgend einer Weise unterstützt sein. In jedem Körper giebt es einen Punkt, dessen alleinige Unterstützung schon ausreicht, um ihn Schwerpunkt.

Digitized by Google

am Fallen zu hindern. Man nennt diesen Punkt den Schwerpunkt. Hängt ein Körper an einem Faden, so nimmt derselbe von selbst eine solche Lage an, daß der Schwerpunkt senkrecht unter dem Aufhängepunkt zu liegen kommt. Wird der Körper aus dieser Lage gebracht und sich dann selbst überlassen, so kehrt er in dieselbe zurück, wie dies jedes aufgehängte Pendel zeigt.

Wenn dagegen der unterstützte Punkt in den Schwerpunkt fällt, so ruht der Körper in jeder Lage. Ein Rad, welches um eine durch den Schwerpunkt gehende Axe drehbar ist, bietet ein bekanntes Beispiel dar. Aber auch jeder andere um eine Axe drehbare Körper, z. B. der Balken AB, Fig. 5, ruht in jeder willkührlichen Lage, wenn die Drehungsaxe durch den Schwerpunkt C geht.

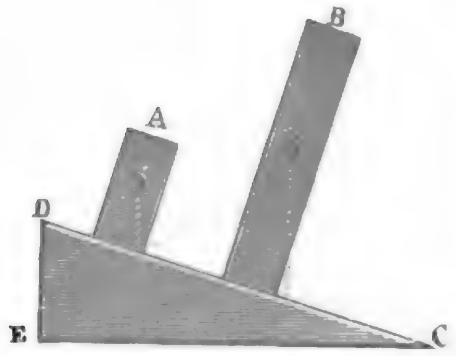
(Fig. 5.)

Wird ein Körper auf eine Spitze gestellt, so kann derselbe zwar ebenfalls ruhen, wenn der unterstützte Punkt genau in lothrechter Linie unter dem Schwerpunkte liegt; allein der Körper schlägt gänzlich um, wenn diese Bedingung nicht erfüllt ist. Die Kunst des Balancirens beruht darauf, den unterstützten Punkt immer genau unter den Schwerpunkt zu bringen.

Ein Körper, dessen Schwerpunkt hoch liegt, z. B. ein am obern Ende mit einem metallenen Knopfe versehener Stock ist leichter zu balanciren, weil beim Umfallen der Schwerpunkt einen weiteren Weg durchläuft und wegen der hierzu erforderlichen längeren Zeit es eher gelingt, den unterstützten Punkt wieder unter den Schwerpunkt zu bringen. Rotirende Körper sind leichter als ruhende zu balanciren, weil bei jenen der Schwerpunkt einen Kreis beschreibt, und bei rascher Rotation fast nur erforderlich ist, daß der unterstützte Punkt sich lothrecht unter der Fläche dieses Kreises befindet.

Soll ein Körper auf einer Unterlage mit Sicherheit ruhen, so reicht ein Unterstützungspunkt nicht aus; es bedarf hierzu einer unterstützenden Fläche. Aber auch hier muß die Bedingung erfüllt sein, daß eine durch den Schwerpunkt gehende lothrechte Linie die unterstützende Fläche durchschneidet. Ist diese Bedingung nicht erfüllt, so fällt der Körper um. Der Körper A Fig. 6, kann z. B. auf der schiefen Unterlage CD ohne Gefahr des Umfallens ruhen, da ein durch seinen Schwerpunkt S gehendes Loth noch innerhalb der unterstützenden Fläche fällt. Der Körper B muß dagegen umfallen, weil wegen der höheren Lage seines Schwerpunktes S die durch diesen gehende lothrechte Linie nicht mehr die Unterstützungsfläche durchschneidet. Ein Wagen läuft daher auf einer schiefen Straße um so größere Gefahr umzufallen, je höher derselbe beladen ist, und je höher in Folge hiervon sein Schwerpunkt zu liegen kommt.

(Fig. 6.)



Bei einem aufrecht stehenden Menschen fällt der Schwerpunkt ohngefähr in die Mitte des Unterleibes, und eine durch denselben gezogene lothrechte

Digitized by Google

Linie durchschneidet die zwischen den Füßen befindliche Fläche. Ist diese Bedingung nicht erfüllt, so muß der Mensch fallen, wenn es ihm nicht gelingt, dieselbe wieder herzustellen. Läuft ein Mensch Gefahr, nach der linken Seite zu fallen, so hebt er fast unwillkührlich den rechten Arm und Fuß in die Höhe, um den Schwerpunkt mehr nach dieser Seite hin zu bewegen. Aus ähnlichen Gründen neigen wir uns beim Besteigen eines Berges nach vorn. Trägt ein Mensch auf dem Rücken eine Last, so fällt sein Schwerpunkt mehr nach hinten, und derselbe ist daher genöthigt, sich um so mehr nach vorn zu neigen, je größer die Last ist, u. dgl. m.

Beweglichkeit.

Eine weitere, allen Körpern zukommende Eigenschaft, welche wir noch näher zu betrachten haben, ist die Beweglichkeit. Kein Körper ist in der Art an eine bestimmte Stelle des Raumes befestigt, daß eine Veränderung des Ortes, also Bewegung, für denselben unmöglich wäre. Unser eigner Erdkörper durchläuft nebst allen auf demselben befindlichen Körpern alljährlich seine Bahn um die Sonne, und selbst diese ist nicht ohne Bewegung. Nicht allein, daß sie in je $25^1/_2$ Tage sich um ihre Axe dreht, sie hat außerdem noch eine fortschreitende Bewegung im Weltraume, worüber der astronomische Theil die ausführlichere Belehrung gewähren wird.

Die Bewegung eines Körpers ist entweder gradlinig oder krummlinig, gleichförmig oder ungleichförmig. Gleichförmig heißt die Bewegung, wenn ein Körper in gleichen Zeiten immer gleiche Räume durchläuft, ungleichförmig, wenn dieses nicht stattfindet. Die ungleichförmige Bewegung ist entweder beschleunigt oder verzögert, je nachdem die Wege, welche der Körper in gleichen Zeiten zurücklegt, zu- oder abnehmen. Ein Beispiel einer beschleunigten Bewegung bietet ein fallender, ein Beispiel einer verzögerten Bewegung ein senkrecht in die Höhe geworfener Körper dar. Das einzige Beispiel einer vollkommen gleichförmigen Bewegung, welche wir in der Natur antreffen, ist die Axendrehung der Erde (und wahrscheinlich auch die der übrigen Planeten und der Sonne).

Da wir mit unsern Sinnen die Zeit selbst nicht wahrzunehmen vermögen, wohl aber im Stande sind, die in derselben erfolgende Bewegung eines Körpers, den von diesem durchlaufenen Weg zu messen, so dient uns die gleichförmige Bewegung als Maaß der Zeit, indem bei derselben Zeit und Weg einander proportional sind. Wir beurtheilen daher die Länge der Zeit nach der Größe des Bogens, welchen die Zeiger unserer Uhren über dem Zifferblatte zurückgelegt haben. Weil aber alles Menschenwerk an Unvollkommenheiten leidet, auch die besten Uhren keinen vollkommen regelmäßigen Gang besitzen, so reguliren wir dieselben nach der Axendrehung der Erde, indem diese vollkommen gleichförmig erfolgt.

Legt ein bewegter Körper in gleichen Zeiten immer gleiche Räume zurück, so nennt man den Weg, welchen derselbe in der Zeiteinheit, als welche man gewöhnlich eine Sekunde annimmt, durchläuft, die Geschwindigkeit desselben. Ein gleichförmig bewegter Körper hat während der ganzen Dauer seiner Bewegung die nehmliche Geschwindigkeit; bei einer beschleunigten oder verzögerten Bewegung nimmt die Geschwindigkeit entweder zu oder ab. Da dieselbe bei einer ungleichförmigen Bewegung, z. B. bei einem fallenden Körper in jedem Momente eine andere ist, so versteht man hier unter der Geschwindigkeit des bewegten Körpers für einen bestimmten Moment denjenigen Weg, welchen der Körper in einer Sekunde zurücklegen würde, wenn der Zustand der Bewegung, welchen der Körper in diesem Moment hat,

Digitized by Google

während der Dauer einer Sekunde unverändert derselbe bliebe. Es ist hiernach klar, daß bei einer ungleichförmigen Bewegung sich die Geschwindigkeit nicht wohl unmittelbar abmessen läßt; die Größe derselben muß vielmehr aus theoretischen Gründen erschlossen werden.

Bei einer gleichförmigen Bewegung reicht es dagegen aus, die Größe des Weges und der während der Bewegung verflossenen Zeit zu kennen. Legt z. B. ein Wanderer, welcher mit gleich bleibender Geschwindigkeit fortschreitet, eine preußische Meile*) = 24,000 rheinl. Fuß, in hundert Minuten zurück, so ist seine Geschwindigkeit für die Sekunde = 4 Fuß. Macht dagegen der Dampfwagen denselben Weg in 10 Minuten, so ist seine Geschwindigkeit = 40 Fuß. Durchfliegt eine Brieftaube diesen Weg in $3^1/_3$ Minute, so ist ihre Geschwindigkeit = 120 Fuß. Die größte Geschwindigkeit, welche wir Körpern auf der Erde zu ertheilen vermögen, ist die der Wurfgeschosse. Eine Büchsenkugel durchläuft in der Sekunde etwa 1500, eine 24-pfündige Kanonenkugel 2200 Fuß. Diese Geschwindigkeiten werden jedoch noch weit von der Geschwindigkeit übertroffen, mit welcher sich die Himmelskörper um die Sonne bewegen. Der mittlere Abstand der Erde von der Sonne beträgt ungefähr $20^1/_2$ Millionen Meilen, der Durchmesser der Erdbahn folglich 41 Millionen und die Länge dieser Bahn selbst 129 Millionen Meilen. Nun beträgt ein Jahr ($365^1/_4$ Tag) 31,557,600 Sekunden. Die Erde legt daher in einer Sekunde mehr als 4 Meilen zurück. Die größte aller bekannten Geschwindigkeiten ist jedoch die des Lichtes, welches ohngefähr 42,000 Meilen in der Sekunde durchläuft**).

Kein ruhender Körper kommt durch sich selbst in Bewegung; es bedarf hierzu der äußeren Einwirkung irgend einer Kraft. Umgekehrt muß jeder Körper, da Beweglichkeit eine allgemeine Eigenschaft der Materie ist, sich fortbewegen, wenn auf denselben eine Kraft einwirkt, sofern die Bewegung nicht durch ein derselben entgegenstehendes Hinderniß gehemmt wird. Dasselbe findet im Allgemeinen auch statt, wenn auf einen Körper nicht blos eine, sondern zugleich mehrere bewegende Kräfte einwirken. In diesem Falle kann es jedoch auch geschehen, daß die Kräfte in ihren gegenseitigen Wirkungen sich vollständig aufheben, und der Körper folglich in Ruhe bleibt. Man sagt dann die Kräfte halten sich das Gleichgewicht. Gleichgewicht findet z. B. offenbar statt, wenn auf einen Körper zwei genau gleiche Kräfte nach gerade entgegengesetzten Richtungen wirken. Ebenso können sich auch drei und mehr auf den nehmlichen Körper wirkende Kräfte unter Bedingungen, welche wir gleich werden näher kennen lernen, das Gleichgewicht halten.

Derjenige Zweig der Physik, welcher die Gesetze des Gleichgewichtes und der Bewegung entwickelt, führt den Namen Mechanik. Ein besonderer Theil derselben ist die Statik, welche sich ausschließlich mit den Bedingungen des Gleichgewichts beschäftigt.

Statik fester Körper.

Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte.

Wenn auf dem nehmlichen Punkt eines Körpers zu gleicher Zeit zwei Kräfte in derselben Richtung wirken, so ist die hervorgebrachte Wirkung offenbar der Summe der Wirkungen gleich, welche jede der beiden Kräfte

*) Wir legen diese hier wegen ihrer bequemen Eintheilung zu Grunde; sie übertrifft die geographische um die geringe Größe von 358 rheinl. Fuß.

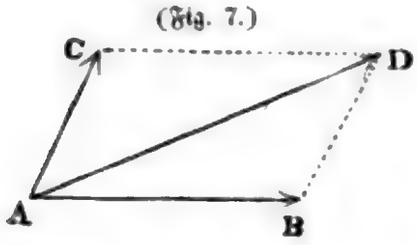
**) Die ebenfalls sehr große Geschwindigkeit, mit welcher sich die Electricität fortpflanzt, ist noch nicht mit hinreichender Sicherheit ermittelt.

Digitized by Google

einzeln hervorzubringen im Stande iſt. Denken wir uns z. B., ein Dampfſchiff auf einem Fluſſe würde bei ruhender Maſchine durch die Strömung des Fluſſes allein in jeder Sekunde um 5 Fuß, durch die Dampfkraft in ſtillſtehendem Waſſer um 15 Fuß in jeder Sekunde fortbewegt werden, ſo wird daſſelbe, wenn beide Kräfte zugleich in der nehmlichen Richtung wirken, 20 Fuß in der Sekunde zurücklegen. Um die nehmliche Wirkung hervorzubringen, würde daher eine der Summe der beiden Kräfte gleiche Kraft erforderlich ſein.

Dieß iſt jedoch nicht mehr der Fall, wenn die beiden Kräfte eine verſchiedene Richtung haben, wenn dieſe Richtungen einen Winkel einſchließen. Wir wollen als Beiſpiel wieder ein Schiff auf einem Fluſſe, aber ein Segelſchiff annehmen. Es ſei AB, Fig. 7, der Weg, welchen das Schiff in einer Secunde zurücklegen würde, wenn es lediglich der Strömung des Fluſſes unterworfen wäre, AC aber der Weg, durch welchen ein von der Seite wehender Wind daſſelbe im ſtillſtehenden Waſſer in einer Secunde forttreiben würde. Dann wird das Schiff, wenn beide Kräfte vereinigt auf daſſelbe wirken, weder den Weg AB noch den Weg AC wirklich durchlaufen, ſondern eine zwiſchen dieſe Wege fallende Linie AD, welche wir erhalten, wenn wir durch B eine mit AC und durch C eine mit AB parallele Linie ziehen und den Durchſchnittspunkt D mit A verbinden.

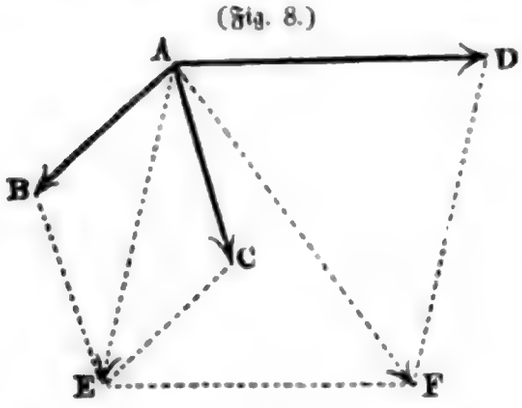
(Fig. 7.)



Drücken überhaupt AB und AC die Richtungen und die verhältnißmäßigen Größen zweier auf einen Punkt A wirkenden Kräfte aus, ſo giebt die Diagonale AD des Parallelogramms ABDC die Größe und Richtung einer Kraft an, welche die nehmliche Wirkung hervorbringt, wie die beiden Kräfte zuſammen. Dieſer durch ſeine vielfachen Anwendungen wichtige Satz der Mechanik wird der Satz vom Parallelogramm der Kräfte genannt. Ueberhaupt aber nennt man eine Kraft, welche daſſelbe wirkt, wie zwei oder mehrere Kräfte zuſammen, die Mittelkraft oder reſultirende Kraft.

Die Reſultirende AD zweier Kräfte AB und AC fällt offenbar um ſo größer aus, je kleiner der Winkel BAC iſt, welchen die Seitenkräfte AB und AC einſchließen; ſie wird aber nur dann der Summe derſelben gleich, wenn dieſe eine gleiche Richtung haben. Die Mittelkraft wird dagegen um ſo kleiner, je größer der Winkel iſt, welchen die Seitenkräfte einſchließen, und ſie wird ihrer Differenz gleich, wenn dieſelben eine gerade entgegengeſetzte Richtung haben.

(Fig. 8.)

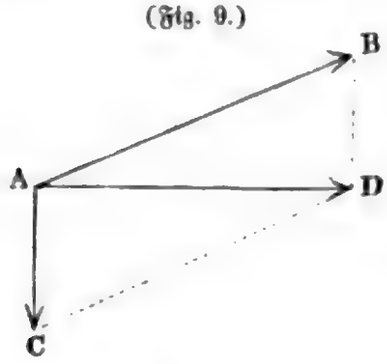


Der obige Satz vom Parallelogramm der Kräfte ſetzt uns auch in den Stand, die Reſultirende für drei und mehr Kräfte zu finden. Wirken z. B. auf einen Punkt A, Fig. 8, drei Kräfte AB, AC und AD, ſo verbinden wir zuerſt zwei derſelben AB und AC zu der Mittelkraft AE und vereinigen hierauf dieſe mit AD in eine Mittelkraft AF; dann iſt AF die Reſultirende der drei Kräfte AB, AC und AD.

Ebenso sieht man nun leicht, wie sich dasselbe für eine größere Zahl gegebener Kräfte ausführen läßt. — Ein Rammklotz wird durch die vereinte Anstrengung einer Menge Menschen, welche an Seilen ziehen, die alle eine verschiedene Richtung haben, emporgehoben. Die angegebene Construction würde uns in den Stand setzen, die Resultirende aller dieser zugleich wirkenden Kräfte zu finden.

Wenn ein Schiff durch den Zug von Pferden, welche am Ufer ziehen, stromaufwärts fortbewegt wird, so würde dasselbe diesem Zuge folgend, an das Ufer getrieben werden, wenn nicht die Anstrengung im Schiffe befindlicher Ruderer dieß verhinderte. Ist AB, Fig. 9, die Größe und Richtung der von den Pferden an dem einen Ufer angewendeten Kraft, AC die Kraft des Ruderers, welche, wenn sie allein thätig wäre, das Schiff um die Strecke AC nach dem andern Ufer hin treiben würde, so ist die Diagonale AD des Parallelogrammes, ABDC die Resultirende dieser beiden Kräfte. Fällt diese mit der Richtung des Flusses AD zusammen, und ist AC senkrecht hierauf, so ist auch BD senkrecht auf AD. Wir hätten daher, um die Größe der Kraft AD zu finden, mit welcher das Schiff wirklich in der Richtung des Flusses durch die von den Pferden angewendete Kraft AB fortgetrieben wird, nur nöthig gehabt, BD senkrecht auf AD zu ziehen.

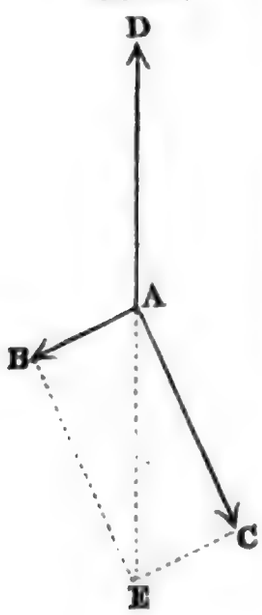
(Fig. 9.)



Man sieht ferner hieraus, daß die wirklich zur Anwendung kommende Kraft AD nur einem Theile der ausgeübten Kraft AB gleich ist, und daß dieser Theil um so kleiner ausfällt, je größer der Winkel BAD ist, welchen die schief wirkende Kraft AB mit der Richtung AD bildet, in welcher der fortgezogene Körper wirklich bewegt wird.

Das eben Gesagte findet in unzähligen anderen, überhaupt in allen Fällen Anwendung, in denen ein Körper nicht unmittelbar dem Zuge der auf denselben wirkenden Kraft folgt, sondern die Richtung dieser Kraft mit der Richtung, in welcher der Körper wirklich sich fortbewegt, einen Winkel bildet. Dieß ist z. B. der Fall in Hinsicht der Wirkung, welche der Wind auf die schief gestellten Segel eines Schiffes oder auf die Flügel einer Windmühle, ebenso das strömende Wasser auf das schief gestellte Steuerruder eines Schiffes ausübt u. dgl. m.

(Fig. 10.)



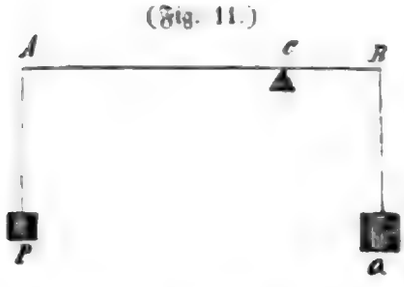
Indem wir im Vorhergehenden gesehen haben, wie sich zu zwei oder mehreren auf einen Punkt wirkenden Kräften die Resultirende finden läßt, welche allein dieselbe Bewegung hervorbringen würde, die aus der vereinten Wirkung der vorhandenen Kräfte hervorgeht, so ist uns hierdurch auch die Beantwortung der Frage nach der Größe und Richtung einer Kraft gegeben, welche im Stande ist, den vorhandenen Kräften das Gleichgewicht zu halten, das Entstehen einer Bewegung zu verhindern; dieselbe muß offenbar mit der Resultirenden der wirkenden Kräfte eine gleiche Größe, aber die gerade entgegengesetzte Richtung von dieser haben. Wirken z. B. auf den Punkt A, Fig. 10, die drei Kräfte AB, AC

und AD, ſo wird zwiſchen denſelben das Gleichgewicht vorhanden ſein, wenn die Reſultirende AE der beiden Kräfte AB und AC mit der dritten Kraft AD gleiche Größe, aber gerade entgegengeſetzte Richtung hat.

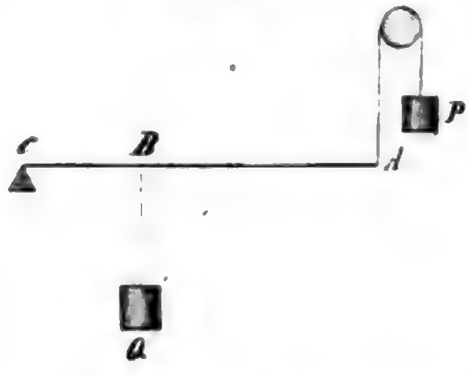
In den bisher behandelten Fällen wirkten die Kräfte unmittelbar auf den in Bewegung zu ſetzenden Punkt. Dieſe Bedingung war nur in einem gelegentlich angeführten Beiſpiele nicht ganz vollſtändig erfüllt. Wir erwähnten oben eines Rammklotzes, bei welchem eine Menge Menſchen an Seilen ziehen, um daſſelbe emporzuheben. Dieſe Seile laufen nun zwar ſämmtlich in einem Punkte zuſammen, welcher jedoch ganz außerhalb des fortzubewegenden Körpers liegt. Dieſelben vereinigen ſich nehmlich am Ende eines Seiles, welches über eine Rolle geht und nach der emporzuhebenden Laſt führt. Es bedarf alſo hier noch einer beſondern Vorrichtung, einer Rolle, um die Wirkung der thätigen Kräfte auf den zu bewegenden Körper zu übertragen, da dieſer ſich nicht unmittelbar in der Richtung derſelben befindet. Ueberhaupt iſt wohl einleuchtend, daß eine Kraft unmittelbar nur auf einen in ihrer Richtung liegenden Punkt wirken kann. Jede Vorrichtung nun, in dem angeführten Beiſpiele die Rolle, vermöge deren eine Kraft auf einen Punkt, welcher ſich nicht in der Richtung derſelben befindet, eine Wirkung hervorbringt, führt den Namen **Maſchine**. Maſchine.

Die wichtigſte aller Maſchinen, welche zugleich die vielfachſten Anwendungen findet, iſt der **Hebel**. Dieſer beſteht in ſeiner einfachſten Geſtalt aus einer unbiegſamen Stange, AB, Fig. 11 u. 12, welche um einen feſten Hebel.

(Fig. 11.)



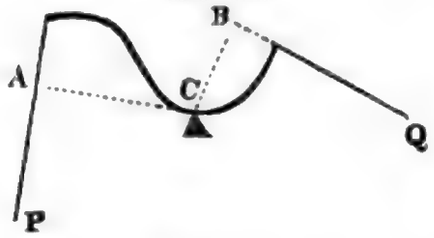
(Fig. 12.)



Punkt C drehbar iſt, und an welcher in verſchiedenen Punkten zwei Kräfte P und Q angebracht ſind, welche den Hebel nach entgegengeſetzten Seiten zu drehen ſtreben. Der Hebel heißt **einarmig**, wenn, wie in Fig. 12, beide Kräfte an der nehmlichen Seite des Unterſtützungspunktes angebracht ſind, zweiarmig, wenn die Kräfte an entgegengeſetzten Seiten vom Drehungspunkte, wie in Fig. 11, wirken. Man pflegt von den beiden am Hebel wirkenden Kräften die eine, als welche wir hier P annehmen wollen, vorzugsweiſe die **Kraft**, die andere, Q, die Laſt zu nennen. Haben Kraft und Laſt eine gleiche Entfernung vom Unterſtützungspunkte, wie dieß z. B. bei der gemeinen Wage der Fall iſt, ſo müſſen offenbar auch beide einander gleich ſein, wenn ſich dieſelben das Gleichgewicht halten ſollen. Iſt dagegen der Abſtand AC der Kraft P vom Unterſtützungspunkte dreimal ſo groß, als der Abſtand BC der Laſt Q von dieſem Punkte, ſo braucht die Kraft P, um der Laſt Q das Gleichgewicht zu halten, nur dem dritten Theile von dieſer gleich zu ſein. Ueberhaupt findet ſowohl am zweiarmigen, als auch am einarmigen Hebel Gleichgewicht ſtatt, wenn Kraft und Laſt ſich umgekehrt wie ihre ſenkrechten Entfernungen vom Unterſtützungspunkte verhalten.

Sind die Richtungen der Kräfte P und Q, wie in Fig. 11 und 12, senkrecht auf den Hebelarmen AC und BC, so kann man dieselben unmittelbar als die Entfernung der Kräfte vom Unterstützungspunkte annehmen. Wirken dagegen die Kräfte in schiefer Richtung auf die Hebelarme, oder sind diese krummlinig, wie in Fig. 13, so hat man bei Anwendung des obigen Gesetzes die senkrechten Abstände AC und BC der Kräfte P und Q vom Drehungspunkte C abzumessen.

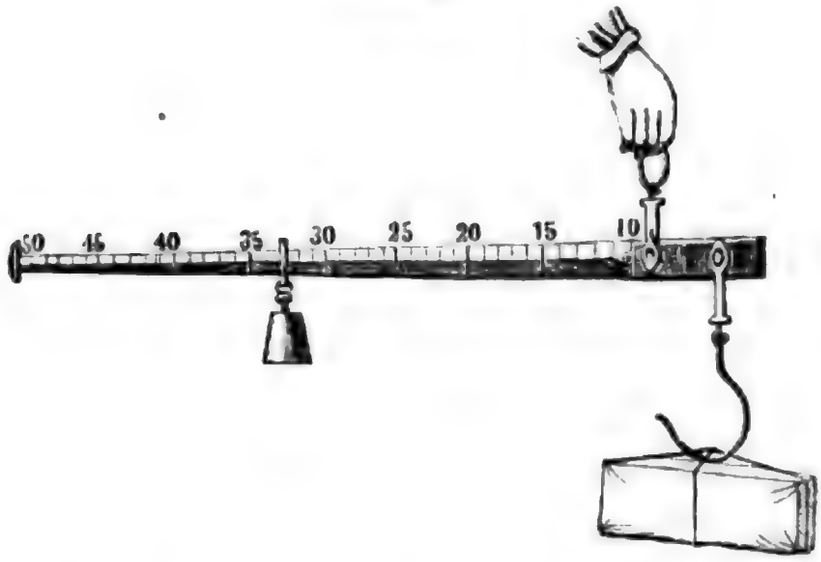
(Fig. 13.)



Dieses Gesetz ist jedoch eigentlich nur dann vollkommen richtig, wenn von dem eigenen Gewichte der Hebelstange abgesehen werden kann. Dieses ist z. B. dann der Fall, wenn der Drehungspunkt und der Schwerpunkt der Hebelstange in lothrechter Linie liegen. Ist diese Bedingung nicht erfüllt, so wird das obige Gesetz annähernd als richtig gelten, wenn man das Gewicht der Hebelstange, wie dieß bei den meisten Anwendungen des Hebels der Fall ist, als unbedeutend, vernachlässigen kann.

Von den unzähligen Anwendungen, welche der Hebel findet, führen wir zunächst die Schnellwage, Fig. 14, an. Dieselbe besteht aus einem zwei-

(Fig. 14.)



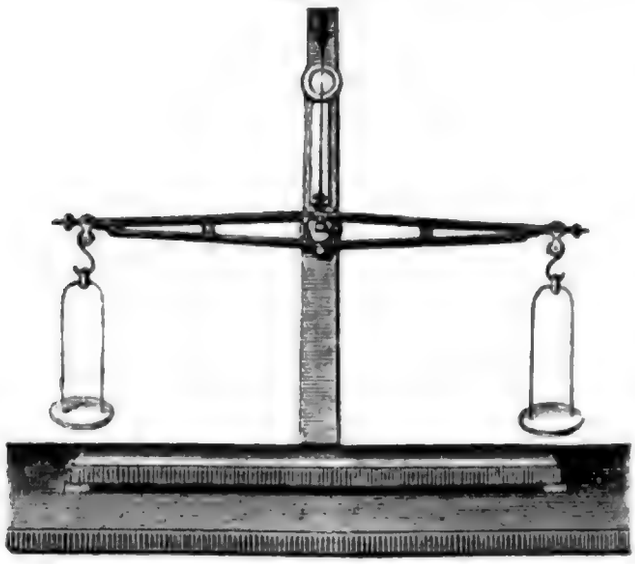
armigen Hebel, dessen Arme eine sehr ungleiche Länge haben. An dem kürzeren Arme wird die abzuwägende Last angehängt; an dem längeren Arme ist eine Scale angebracht. Diejenige Zahl der Scale, bei welcher ein verschiebbares Gewicht, der sogenannte Läufer, angehängt werden muß, um der abzuwägenden Last das Gleichgewicht zu halten, giebt an, wie viel Pfunde diese wiegt. — Andere Anwendung des Hebels sind: die Zange, die Scheere, die Thürklinke, der Schlüssel, der Bohrer, der Hebebaum, die Heckselschneide u. dgl. m.

Gemeine Wage.

Die wichtigste Anwendung des Hebels, besonders für den Physiker, ist die gemeine Wage, Fig. 15, von welcher wir noch ausführlicher handeln wollen. Indem wir jedoch die Einrichtung derselben im Allgemeinen als bekannt voraussetzen, beschränken wir uns darauf, die Bedingungen anzugeben, welche eine gute Wage zu erfüllen hat.

Digitized by Google

(Fig. 15.)



1) Bei ausgehängten Wagschalen muß der Wagebalken in horizontaler Lage ruhen, und wenn er aus dieser Lage gebracht wird, von selbst in dieselbe zurückkehren. Zur Erfüllung dieser Bedingung ist erforderlich, daß bei der wagrechten Lage des Wagebalkens der Schwerpunkt desselben lothrecht unter den Drehungspunkt zu liegen kommt.

2) Die Wage muß empfindlich sein, d. h. sie muß bei einem geringen Uebergewichte einen merklichen Ausschlag geben. Es darf daher der Schwerpunkt des Wagebalkens nur um einen geringen Abstand unter dem Drehungspunkte liegen. Wäre dieser Abstand zu groß, so würde die Wage träge sein, d. h. sie würde erst bei einem beträchtlichen Uebergewichte einen erheblichen Ausschlag geben.

Außerdem hängt die Empfindlichkeit einer Wage ganz besonders von der Reibung am Drehungspunkte ab. Um dieselbe möglichst zu verringern, ruht der Wagebalken vermittelst einer stählernen Schneide auf einer hohlen cylinderförmigen Unterlage von Stahl oder Achat.

Man schätzt die Empfindlichkeit einer Wage nach demjenigen Theil der Belastung, bei welchem dieselbe noch einen deutlichen Ausschlag giebt. Gute Wagen zeigen noch ein Uebergewicht von einem Hunderttausendstel der Belastung an; bei sehr empfindlichen Wagen, wie sie von ausgezeichneten Künstlern zum Gebrauch des Physikers angefertigt werden, beträgt dieser Theil sogar weniger als ein Milliontel der Belastung.

3) Die Wagschalen müssen ein gleiches Gewicht und ihre Aufhängepunkte gleiche Entfernung vom Unterstützungspunkte haben. Diese Bedingung ist erfüllt, wenn ohne Störung des Gleichgewichtes sich die leeren Wagschalen mit einander vertauschen lassen, und wenn ferner eine abgewogene Last in der einen Schale sich mit dem Gewichte in der andern vertauschen läßt.

Die zur Abwägung dienenden Gewichte weichen in verschiedenen Ländern nicht weniger, als die gebräuchlichen Längenmaße von einander ab. Für wissenschaftliche Zwecke eignet sich auch hier wieder wegen der so bequemen Decimaleintheilung ganz besonders das französische Gewicht. Die Einheit desselben bildet das Gewicht eines Kubikcentimeters reinen Wassers bei seiner größern Dichtigkeit (ohngefähr 4^0 C.), welches den Namen Gramm führt. Der zehnte Theil des Gramms wird Decigramm, der hundertste Centigramm, der tausendste Milligramm genannt. Tausend Gramm dagegen heißen ein Kilogramm.

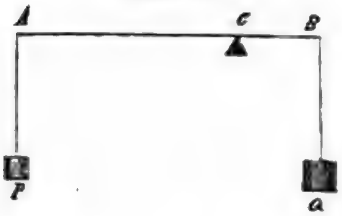
In dem bürgerlichen Verkehr bildet gewöhnlich die Gewichtseinheit das Pfund, welches jedoch in verschiedenen Ländern eine sehr verschiedene Größe hat. So ist z. B.

ein Pfund	in Oesterreich und Bayern	= 560	Gramm,
„ „	in Preußen, Churhessen, Sachsen, Hannover u. Braunschweig	= 468	„
„ „	im Großherzogthum Hessen und Baden	= 500	„
„ „	in England	= 454	„
„ „	in Schweden	= 425	„
„ „	in Dänemark	= 499	„
„ „	in Rußland	= 409	„

Wiewohl nun diese Pfunde erheblich von einander abweichen, so würde jedoch anderntheils das neufranzösische metrische Gewicht, da dasselbe im bürgerlichen Verkehr in den Ländern deutscher Zunge kaum im Gebrauch ist, unsern Lesern zu wenig Anschaulichkeit gewähren, wollten wir nach demselben die aufzuführenden Gewichtsbestimmungen ausdrücken. Wir werden es daher vorziehen, hierbei das Pfund von 500 Gramm, welches zwischen den oben angeführten ohngefähr das Mittel hält und bereits, außer Hessen und Baden, wie oben angegeben, bei allen Berechnungen des Zollvereins angewendet wird, zu Grunde legen, zumal dasselbe zu dem neufranzösischen Gewichte in einem so einfachen Verhältnisse steht, gerade gleich der Hälfte eines Kilogramms ist.

Wie wir im Vorhergehenden gesehen haben, vermag ein Hebel eine kleinere Kraft, wenn dieselbe am längeren Hebelarme wirkt, einer größeren am kürzeren Hebelarme angebrachten Last das Gleichgewicht zu halten. Ist z. B. der Hebelarm BC, Fig. 16, dem dritten Theile des Hebelarmes AC gleich, so braucht auch die Kraft P, damit Gleichgewicht stattfinde, nur dem dritten Theile der Last Q gleich zu sein. Ist die Kraft nur um das Geringste größer als dieser Theil, so erhält die Kraft P das Uebergewicht, und die Last Q steigt empor. Da jedoch der Hebelarm AC dreimal so lang ist, als der Hebelarm BC, so ist auch der von dem Endpunkte A durchlaufene Bogen dreimal so groß, als der Bogen, welchen der Endpunkt B beschreibt. Bei eintretender Bewegung durchläuft daher die Kraft einen dreimal größeren Weg, als die zu hebende Last Q. So vielmal überhaupt die Kraft kleiner ist, als die Last, ebenso vielmal ist der von der Kraft zu durchlaufende Weg größer, als der Weg, durch welchen die Last fortgeführt wird, oder kurz ausgesprochen: Was einerseits an Kraft gewonnen wird, ebenso viel geht andererseits am Wege verloren.

(Fig. 16.)



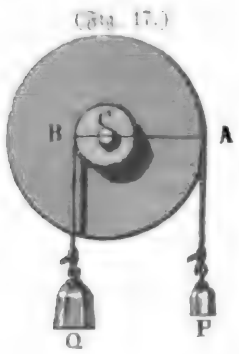
Das eben ausgesprochene Prinzip gilt nicht blos vom Hebel, sondern von allen Maschinen überhaupt, wie dieselben auch immer zusammengesetzt sein mögen. Bei allen Maschinen ohne Ausnahme wird ebenso viel am Wege verloren, als an Kraft gewonnen, bei keiner Maschine, wie dieselbe auch immer construirt sein mag, findet, wenn durch dieselbe Bewegung hervorgebracht werden soll, ein reiner Gewinn an Kraft statt.

Wir wollen nun das angeführte wichtige Prinzip auf einige häufig gebrauchte Maschinen anwenden.

Wellrad.

Wir führen zunächst das Wellrad, Fig. 17, an. Dieses besteht aus einem Cylinder, auch Walze oder Welle genannt, und einem Rade, welches an dem Cylinder senkrecht zur Axe desselben befestigt ist. Die Kraft P wirkt am Umfange des Rades, die zu hebende Last Q am Umfange des Cylinders. Man erkennt hiernach leicht, daß das Wellrad nur eine besondere Form des Hebels ist. Es wird daher am Wellrade Gleichgewicht vorhanden sein, wenn sich die Kraft P zur Last Q wie der Radius des Cylinders BC zum Radius des Rades AC

(Fig. 17.)



Digitized by Google

verhält. Soll aber die Last wirklich gehoben werden, so muß, wie man leicht sieht, die Kraft einen so vielmal größeren Weg, als die Last Q durchlaufen, als wie vielmal der Radius des Rades größer ist, als der Radius der Walze.

(Fig. 18.)

Je nach dem verschiedenen Gebrauch, welchen man von dem Wellrade macht, führt dasselbe die besonderen Namen: Erdwinde, Haspel, Windseil u. dgl. m.

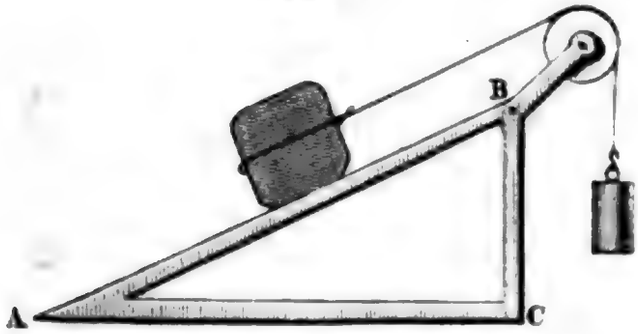
Flaschenzug.

Zum Emporziehen größerer Lasten wendet man häufig den Flaschenzug, Fig. 18, an. Dieser besteht aus mehreren Rollen, von denen die eine Hälfte in einer befestigten Hülse A, die andere Hälfte in einer beweglichen Hülse B angebracht ist, an deren Enden die emporzuhebende Last Q hängt. Die Kraft P wirkt an dem einen Ende eines Seiles, welches in der Art wie dieses die Figur zeigt, um die einzelnen Rollen herum läuft und mit dem anderen Ende an der obern Hülse befestigt ist. Sind, wie hier in der Figur, sechs nach den Rollen der unteren Hülse hinlaufende Seile vorhanden, so sieht man leicht, daß die Last Q erst dann um einen Fuß gehoben worden ist, wenn die Kraft P sechs Fuß durchlaufen hat. Es ist daher für den Fall des Gleichgewichtes die Kraft dem sechsten Theile der Last gleich. Ueberhaupt wird so vielmal beim Flaschenzuge an Kraft gewonnen, als wie viel Seile vorhanden sind.

Schiefe Ebene.

Wenn Lasten nur um eine geringe Höhe gehoben werden sollen, z. B. beim Beladen eines Frachtwagens mit Fässern, Kisten u. dgl., bedient man sich häufig vortheilhaft der schiefen Ebene. Die Kraft wirkt dann am vortheilhaftesten in einer der schiefen Ebene AB, Fig. 19, parallelen Richtung. Soll die Last um die Höhe BC gehoben werden, so muß die Kraft die Länge AB der schiefen Ebene durchlaufen. Es verhält sich daher die Kraft zur Last wie die Höhe BC zur Länge AB. Der Gewinn an Kraft ist hiernach um so größer, je kleiner der Winkel ist, welchen die schiefe Ebene mit dem Horizonte bildet, und je kleiner folglich im Verhältniß zur Länge die Höhe der schiefen Ebene ist, in demselben Verhältniß muß aber auch die Kraft einen größeren Weg durchlaufen.

(Fig. 19.)



(Fig. 20.)

Schraube.

Eine Maschine, bei welcher ein besonders großer Gewinn an Kraft erzielt wird, ist die Schraube, Fig. 20. Die Kraft wirkt hier gewöhnlich

igitized by Google

am Ende eines Hebelarmes, durch dessen Umdrehung eine senkrecht gegen die Schraubenspindel oder Schraubenmutter drückende Last fortbewegt wird. Diese rückt um die Höhe eines Schraubenganges fort, wenn der Hebelarm einen ganzen Umlauf gemacht hat. Es verhält sich daher die Kraft zur Last wie die Höhe eines Schraubenganges zum Umfange des Kreises, welchen bei der Umdrehung das Ende des Hebelarmes beschreibt, an welchem die Kraft angebracht ist.

Nehmen wir an, daß der Abstand zweier Schraubengänge von einander $^1/_2$ Zoll beträgt und der Hebelarm eine Länge von 35 Zoll hat, also der Durchmesser des von dem Endpunkte desselben bei der Umdrehung beschriebenen Kreises 70 Zoll und folglich der Umfang des Kreises 220 Zoll*) beträgt, so würde sich hieraus ein 440maliger Gewinn an Kraft ergeben. Hinter dem so berechneten Effekte bleibt jedoch die wirkliche Leistung der Schraube wegen der sehr beträchtlichen Reibung, welche die erhabenen Gänge der Schraubenspindel an den vertieften Gängen der Schraubenmutter erleiden, allemal um ein Erhebliches zurück.

Aehnliches gilt auch von allen andern Maschinen. Der nach den angegebenen Regeln bestimmte Effekt ist nur als die Grenze anzusehen, welcher sich die Leistung einer Maschine um so mehr nähern würde, wenn keine Hindernisse der Bewegung entgegenständen, und besonders keine Reibung vorhanden wäre.

Wir beschränken uns auf die angeführten Maschinen, von denen alle andern Modifikationen oder Zusammensetzungen sind; wir brechen nun von den Maschinen ganz ab, indem wir nochmals wiederholen, daß der Effekt jeder Maschine, wie dieselbe auch immer zusammengesetzt sein mag, sich nach der für alle giltigen Regel bestimmen läßt: So viel bei einer Maschine an Kraft gewonnen wird, ebenso viel geht am Wege verloren.

Statik flüssiger Körper.

Die vorhergehenden Erörterungen über Maschinen bezogen sich lediglich auf feste Körper; sie finden keine Anwendung auf Flüssigkeiten wegen der leichten Verschiebbarkeit der Theile derselben. Andererseits begründet gerade diese eine Menge den Flüssigkeiten eigenthümlicher Erscheinungen, deren Betrachtung den Gegenstand dieses Kapitels bilden soll.

Die Flüssigkeiten weichen zunächst darin von den festen Körpern ab, daß sie keine ihnen eigenthümliche Gestalt besitzen, sondern die Gestalt des Gefäßes annehmen, von welchem sie eingeschlossen sind. Nur kleinere Flüssigkeitsmassen zeigen bekanntlich das Bestreben die Kugelform anzunehmen, sich zu Tropfen zu gestalten, wovon wir weiter unten noch ausführlicher handeln werden. Größere Massen einer Flüssigkeit dagegen haben niemals eine bestimmte Gestalt, sondern müssen in ein Gefäß eingeschlossen sein, wenn dieselben nicht aus einander fließen sollen. Nur die Oberfläche des Flüssigen ist von der Gestalt des Gefäßes unabhängig, indem dieselbe eine wagerechte Ebene darstellt. Eine Abweichung hiervon findet jedoch am Rande des Gefäßes statt. Wasser steht nehmlich in den meisten Gefäßen am Rande etwas höher, Quecksilber etwas niedriger als in der Mitte. Auch hiervon werden wir weiter unten ausführlicher handeln.

*) Der Umfang eines Kreises verhält sich nehmlich zum Durchmesser ohngefähr wie 22 zu 7.

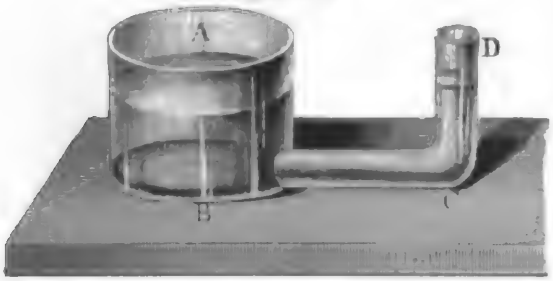
Digitized by Google

Abgeſehen von dieſer Abweichung in der Nähe des Randes bildet, wie geſagt, die Oberfläche des Flüſſigen allemal eine wagerechte Ebene. Der Grund dieſer Erſcheinung iſt offenbar die Schwere, und die leichte Verſchiebbarkeit der Theile des Flüſſigen, da bei einer ſchief geneigten Oberfläche die obern Theilchen über die untern wie auf einer ſchiefen Ebene herabgleiten würden.

Communicirende Röhren.

Dieſelbe Erſcheinung ſtellen auch zwei Gefäße dar, welche ſo mit einander verbunden ſind, daß die Flüſſigkeit frei aus dem einen in das andere treten kann. Man giebt dergleichen Gefäßen den Namen: communicirende Röhren. Auch wenn die Schenkel derſelben, wie in Fig. 21, eine ſehr ungleiche Weite haben, ſteht die Flüſſigkeit in beiden Schenkeln gleich hoch, die Oberflächen des Flüſſigen in beiden Schenkeln liegen in der nehmlichen wagerechten Ebene.

(Fig. 21.)



Dieſes Prinzip findet die vielfachſten und nützlichſten Anwendungen.

Wir führen zunächſt die zum Nivelliren dienende Canalwage, Fig. 22, an. Dieſe beſteht aus einer mit Waſſer gefüllten blechnen Röhre, welche ſich

(Fig. 22.)

auf ein Stativ befeſtigen läßt und an ihren Enden zwei aufrecht ſtehende gläſerne Röhren trägt. Nach dem Prinzip der communicirenden Röhren liegen die Oberflächen des Waſſers in den beiden gläſernen Röhren allemal in einer wagerechten Linie. Viſirt man daher über dieſelben nach einem entfernten Punkte hin, ſo erkennt man, ob derſelbe in gleicher Höhe, höher oder niedriger liegt.

Eine andere Anwendung des obigen Satzes bieten Waſſerleitungen dar. In zuſammenhängenden Röhren läßt ſich das Waſſer abwärts und aufwärts führen. Da jedoch daſſelbe in der Röhre nicht höher ſteigen kann, als die Quelle liegt, aus welcher die Röhrenleitung entſpringt, ſo dürfen auch die Punkte, nach denen daſſelbe hin, oder über welche es hinweggeleitet werden ſoll, keine höhere Lage haben.

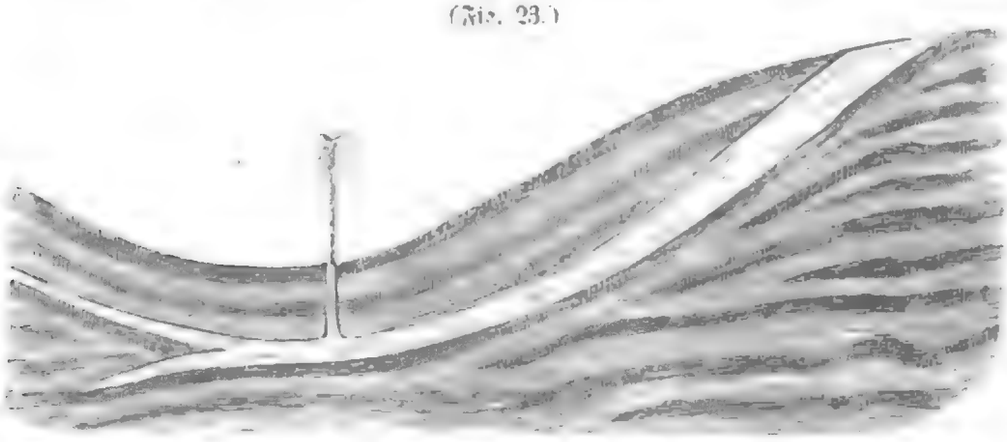
Wenn das Waſſer in Flüſſen ſteigt oder fällt, ſo pflegt das Nehmliche auch in benachbarten Teichen, Brunnen u. ſ. w. zu geſchehen, indem das poröſe Erdreich dem Waſſer den Durchgang geſtattet, gleichſam communicirende Röhren bildet.

Ebenſo beruhen hierauf die Bohrbrunnen, welche auch arteſiſche Brunnen genannt werden, weil dieſelben zuerſt beſonders in der Grafſchaft

Digitized by Google

Artois in Gebrauch gekommen sind. Unter günstigen Umständen steigt das Wasser in dem Bohrloche nicht blos bis zur Oberfläche, sondern wird häufig aus demselben bis zu beträchtlicher Höhe emporgetrieben, Fig. 23.

(Fig. 23.)

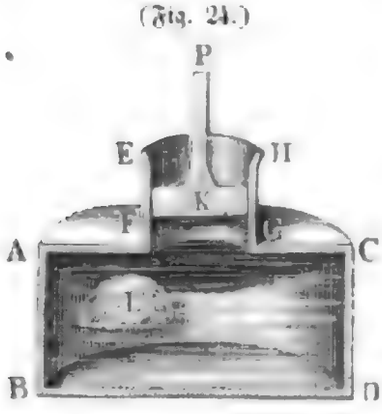


Hierzu ist erforderlich, daß eine poröse Schicht, z. B. von Sand oder zerklüftetem Gestein, von zwei wasserdichten Schichten, z. B. Lehm, Thon, Mergel u. dgl. eingeschlossen wird. Das in der porösen Schicht sich sammelnde und dieselbe erfüllende Regenwasser wird beim Niedertreiben eines Bohrlochs im Thale sich nicht blos bis zur Oberfläche erheben, sondern in einer Röhre bis zu einer gleichen Höhe emporsteigen, in welcher es die wasserhaltige Schicht erfüllt.

Fortpflanzung des Druckes in Flüssigkeiten.

Wenn auf einen festen Körper ein Druck ausgeübt wird, so kann sich durch den festen Körper der Druck natürlich nur in der Richtung fortpflanzen in welcher derselbe ausgeübt wird. Ein ganz anderes Verhalten zeigen in dieser Hinsicht die Flüssigkeiten vermöge der leichten Verschiebbarkeit ihrer Theile. Jeder auf eine Flüssigkeit einseitig ausgeübte Druck verbreitet sich allseitig durch die ganze Flüssigkeit.

(Fig. 24.)



Zur Erläuterung dieses merkwürdigen Satzes kann Folgendes dienen. In dem engeren Halse EFGH eines weiteren, mit Wasser gefüllten Gefäßes ABDC, Fig. 24, sei ein beweglicher, aber dicht anschließender Kolben K angebracht, auf welchen eine Kraft P einen Druck ausübt. Wenn wir von der Reibung, durch welche der auf den Kolben ausgeübte Druck eine Verminderung erleidet, absehen, so erfährt jeder der Kolbenfläche gleiche Theil des Bodens wie der Seitenwände des Gefäßes einen der Kraft P gleichen Druck. So vielmal daher die Oberfläche des Kolbens in der Oberfläche des Bodens oder einer Seitenwand enthalten ist, so vielmal übertrifft der auf den ganzen Boden oder die Seitenwand ausgeübte Druck die Größe der Kraft P, mit welcher der Kolben niedergedrückt wird. Je größer folglich die Bodenfläche und je kleiner die Kolbenfläche, um so mehr übertrifft der auf jene hervorgebrachte Druck die Größe der drückenden Kraft P. Nehmen wir aber an, daß die Bodenfläche beweglich, und daß die Kolbenfläche in derselben z. B. hundertmal enthalten wäre, so würde bei eintretender Bewegung, wenn die Bodenfläche nur den hundertsten Theil eines Zolles auswiche, der Kolben einen ganzen Zoll durchlaufen. Wir begegnen daher auch hier wieder dem

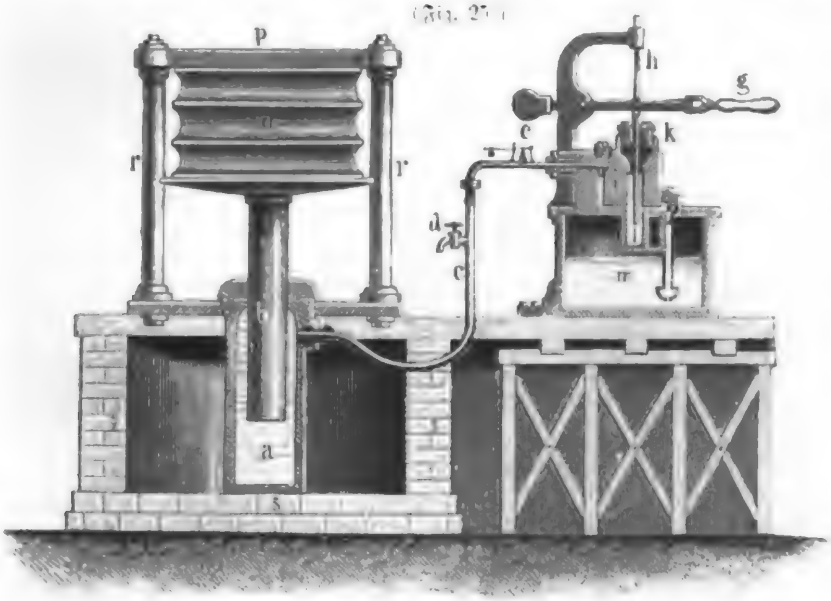
Digitized by Google

für Maſchinen giltigen Prinzip: Was einerſeits an Kraft gewonnen wird, geht andererſeits am Wege verloren.

Auch der in dem zuſammengedrückten Waſſer befindliche Körper L erleidet nach Maaßgabe ſeiner Oberfläche einen der angegebenen Regel entſprechenden Druck.

Aus dem Vorgetragenen erklärt ſich die bekannte Erfahrung, welche mancher unſerer Leſer vielleicht ſchon zu ſeinem eigenen Schaden gemacht hat, daß häufig Flaſchen zerſprengt werden, wenn dieſelben bis nahe an die Mündung des Halſes mit einer Flüſſigkeit gefüllt ſind, ſo daß der untere Theil des verſchließenden Korkes die Oberfläche der Flüſſigkeit berührt und dann auf den Kork ein Schlag ausgeübt wird.

Eine ſehr nützliche Anwendung des entwickelten Prinzips bietet die hydrauliſche Preſſe dar. Dieſe beſteht aus einem weiteren Cylinder a, Fig. 25, und einem engeren Cylinder l, welche mit Waſſer gefüllt und durch



eine Röhre c verbunden ſind. In dem engeren Cylinder wird durch einen auf den Hebelarm g ausgeübten Druck eine Kolbenſtange niedergedrückt, und indem dieſer Druck ſich durch die Flüſſigkeit fortpflanzt, die Kolbenſtange b in dem weiteren Cylinder in die Höhe getrieben und in Folge hiervon eine über derſelben befindliche Laſt q, z. B. ein Ballen Papier, Tuch u. dgl. m. zuſammengepreßt. Wird die Kolbenſtange b vermittelſt des Hebelarms g in die Höhe gezogen, ſo verhindert ein in der Verbindungsröhre bei i angebrachtes Ventil den Rücktritt des Waſſers aus dem weiteren Cylinder a. Dagegen tritt durch die Steigröhre n vermöge des äußeren Luftdruckes Waſſer aus dem Behälter m in den Cylinder l, beim abermaligen Niederdrücken der Kolbenſtange öffnet ſich das Ventil i, dagegen ſchließt ſich ein am oberen Ende der Steigröhre n angebrachtes Ventil. Iſt durch wiederholtes Auf- und Niederdrücken der Kolbenſtange h die Laſt q hinreichend zuſammengepreßt worden, ſo kann durch Oeffnung des Hahnes d dem zuſammengepreßten Waſſer ein Abzug dargeboten werden. Endlich iſt noch bei e ein Sicherheitsventil angebracht, welches ſich öffnet, wenn ein zu ſtarker Druck die Haltbarkeit der einzelnen Theile des Apparates in Gefahr bringen möchte.

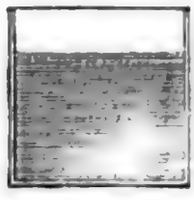
Digitized by Google

Nehmen wir an, daß der Durchmesser des kleineren Kolbens in dem des größeren 20 mal, also die Grundfläche des ersteren in der des letzteren 400 mal enthalten ist, daß ferner an dem Hebel g der Abstand der Kolbenstange vom Drehungspunkte zur ganzen Länge des Hebels sich wie 1 zu 10 verhält, und daß am Ende dieses Hebelarmes ein Arbeiter einen Druck von 100 Pfund ausübt, so ergiebt sich hieraus die Größe des auf den größeren Kolben ausgeübten Druckes gleich 400 . 10 . 100 = 400,000 Pfund = 4000 Centner, und wenn auch etwa ein Viertel dieses Druckes durch die Reibung verloren geht, so bleibt dennoch der enorme Druck von 3000 Centnern übrig. Die hydraulische Presse übertrifft in der That fast alle anderen mechanischen Vorrichtungen durch den ungeheuren Gewinn an Kraft. Man benutzt dieselbe daher häufig in Fabriken zum Pressen von Tuch und Papier, ferner um die Festigkeit von Ketten, Drathseilen, eisernen Stäben zu Kettenbrücken u. dgl. m. zu erproben.

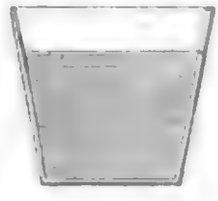
Das Vorhergehende betraf die Wirkung, welche ein äußerlich auf eine Flüssigkeit ausgeübter Druck hervorbringt. Aber auch, wenn ein solcher nicht vorhanden ist, übt die in einem Gefäße oder Behälter befindliche Flüssigkeit vermöge ihrer eignen Schwere auf den Boden und die Seitenwände desselben einen Druck aus. Die Größe dieses Druckes wird nicht durch die Menge des vorhandenen Wassers bestimmt, sie hängt lediglich von der Höhe des Wasserspiegels über der gedrückten Stelle und von der Größe dieser Stelle ab und ist dem Gewichte einer Wassersäule gleich, welche eine der gedrückten Stelle gleiche Fläche zur Grundfläche und die Tiefe ihres Schwerpunktes unter dem Wasserspiegel zur Höhe hat.

In den drei Gefäßen, welche Fig. 26, 27 und 28 darstellen, erleidet jede Stelle des Bodens, wenn die Flüssigkeit in allen dreien gleich hoch

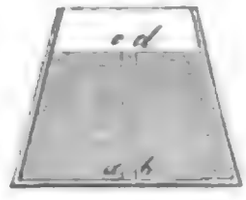
(Fig. 26.)



(Fig. 27.)



(Fig. 28)

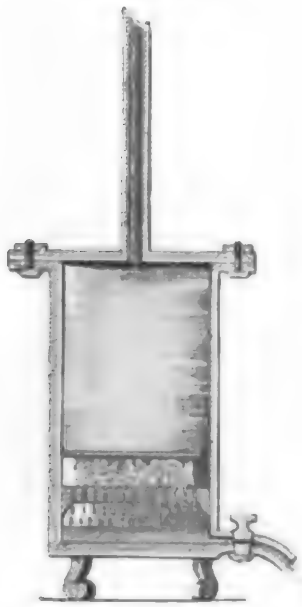


steht, einen gleichen Druck. Der gesammte Druck auf den Boden des in Fig. 26 abgebildeten Gefäßes mit senkrechten Wänden ist daher dem Gewichte des vorhandenen Wassers gleich, in dem Gefäße der Fig. 27 dagegen, dessen Wände sich nach oben erweitern, ist dieser Druck kleiner, in dem Gefäße der Fig. 28 aber, dessen Wände sich verengen, größer, als das Gewicht der vorhandenen Wassermassen.

Eine dieses Gefäß tragende Unterlage erleidet jedoch keinen größeren Druck, als das Gewicht des Wassers und des Gefäßes zusammen betragen, indem der auf den Boden ausgeübte größere Druck zum Theil durch den Druck, welchen die zusammenneigenden Wände von dem Wasser aufwärts erleiden, aufgehoben wird.

Eine Wassermasse kann hiernach auf den Boden des Gefäßes einen beträchtlich größeren Druck ausüben, als dem Gewichte derselben entspricht, wie dieß z. B. in Real's Presse, Fig. 29, der Fall ist, bei welcher in dem obern Boden eines Cylinders eine senkrechte Röhre befestigt ist. Eine auszupressende Substanz, welche sich zwischen zwei Sieben befindet, erleidet

(Fig. 29.)



hier den nehmlichen Druck, als wenn die Wände des weiteren Cylinders bis zu der nehmlichen Höhe wie die Röhre emporſtiegen und bis zu gleicher Höhe wie dieſe mit Waſſer gefüllt wären. Man benutzt dieſe Vorrichtung, um mit Anwendung einer geringen Menge Waſſer oder einer anderen Flüſſigkeit vermöge des ausgeübten ſtarken Druckes kräftige Extracte aus Subſtanzen zu erhalten, welche in der Hitze eine Veränderung ihrer chemiſchen Zuſammenſetzung erfahren würden.

In einem mit Waſſer gefüllten Gefäße hebt der Druck, welchen die gegenüberſtehenden Seitenwände erleiden, ſich gegenſeitig auf. Wenn aber in einer Seitenwand ſich eine Oeffnung befindet, durch welche das Waſſer ausfließt, ſo erleidet dieſe Wand einen geringeren Druck, als die gegenüberſtehende Wand, und das Gefäß weicht daher, wenn es frei beweglich iſt, nach der letztern hin aus. Hierauf beruht das Segner'ſche Waſſerrad, Fig. 30. Dieſes beſteht aus einem um ſeine Axe drehbaren Cylinder, an welchem in der Nähe des Bodens mehrere Röhren angebracht ſind, die ſämmtlich nach derſelben Seite hin gebogen ſind. Wird der Cylinder mit Waſſer gefüllt, ſo dreht ſich derſelbe beim Ausfließen des Waſſers durch die Röhren nach der entgegengeſetzten Seite um ſeine Axe. Die ſogenannten Turbinen oder horizontalen Waſſerräder, auf deren Beſchreibung wir hier nicht näher eingehen können, beruhen auf dieſem Prinzip.

(Fig. 30.)

Prinzip des Archimedes.

Nicht blos der Boden und die Seitenwände des Gefäßes, auch jeder in eine Flüſſigkeit eingetauchte Körper erleidet von derſelben einen Druck. Der Druck, welchen das umgebende Waſſer auf die Seitenwände des eingetauchten Körpers ausübt, hebt ſich gegenſeitig auf. Dagegen muß der Druck, welchen die untere, tiefer liegende Seite des Körpers erleidet, offenbar den Druck, welchen die obere Seite erleidet, übertreffen und zwar um das Gewicht einer Waſſermaſſe, welche mit dem Körper gleiche Größe hat. Ein ins Waſſer eingetauchter Körper verliert daher ſo viel an Gewicht, als die durch ihn verdrängte Waſſermaſſe wiegt.

Dieſes wichtige Prinzip wird gewöhnlich das archimediſche genannt, weil es ſchon einem der ausgezeichnetſten Naturforſcher des Alterthums, Archimedes, bekannt war.

Wenn ein eingetauchter Körper eben ſo ſchwer ſein ſollte, als eine gleich

Digitized by Google

große Wassermasse, so würde derselbe zu Folge des eben vorgetragenen Prinzips an jeder Stelle im Wasser ruhen können. Ist derselbe dagegen schwerer, so wird er nur einen Theil seines Gewichtes verlieren und mit einer Kraft zu Boden getrieben werden, welche dem Unterschiede zwischen seinem eigenen Gewichte und dem Gewichte der verdrängten Wassermasse gleich ist. Hat der Körper aber ein geringeres Gewicht, so wird er nach der Oberfläche hingetrieben, bis ein Theil desselben über diese hervorragt und die durch den eingetauchten Theil verdrängte Wassermasse mit dem ganzen Körper gleiches Gewicht hat. Der Körper schwimmt dann auf dem Wasser und nimmt hierbei allemal eine solche Lage an, daß der Schwerpunkt des Köpers und der Schwerpunkt der verdrängten Wassermasse in lothrechter Linie liegen. Je tiefer der Schwerpunkt des Körpers unter dem Schwerpunkt der verdrängten Wassermasse liegt, um so größer ist im Allgemeinen auch die Stabilität, d. h. das Bestreben des schwimmenden Körpers, wenn er aus der angegebenen Lage gebracht wird, in dieselbe zurückzukehren. Dieß ist der Grund, warum bei den Schiffen der untere Schiffsraum mit Ballast ausgefüllt wird, um dem Schwerpunkte des Schiffes eine möglichst tiefe Lage zu geben und so die Gefahr des Umschlagens zu vermindern.

Von dem hier besprochenen natürlichen Schwimmen ist das künstliche Schwimmen verschieden, welches ins Besondere Menschen anwenden müssen, theils um den Kopf über der Oberfläche des Wassers zu erhalten, theils um sich im Wasser fortzubewegen. Bei den meisten Menschen ist das eigene Gewicht ohngefähr eben so groß, oder nur um ein Geringes kleiner, als das Gewicht einer dem ganzen Körper gleichen Wassermasse. Sie müssen daher Gefahr laufen, bis über den Mund und die Nase in dieses einzusinken, wenn sie dieselben nicht durch künstliches Schwimmen über der Oberfläche des Wassers zu erhalten vermögen. Nur wenige Menschen machen hiervon eine Ausnahme; ein merkwürdiges Beispiel dieser Art war der Neapolitaner Paolo Moccia, welcher nur bis an die Mitte der Brust im Meerwasser einsank und im Jahre 1767 bei Neapel verschiedene Kunststücke ausführte.

Specifisches Gewicht.

Das archimedische Prinzip, daß jeder Körper im Wasser so viel an Gewicht verliert, als die durch denselben verdrängte Wassermasse wiegt, findet eine äußerst nützliche Anwendung, um Körper in Hinsicht ihrer Dichtigkeit mit einander zu vergleichen. Man pflegt bei dieser Vergleichung, wie schon oben bemerkt, das Wasser als Einheit anzunehmen, und giebt der Verhältnißzahl, welche anzeigt, wie vielmal ein Körper so schwer ist als eine gleich große Wassermasse, den Namen: specifisches Gewicht. Wenn man z. B. sagt, das specifische Gewicht des Platins ist = 21, so versteht man darunter, daß ein Stück Platin 21 mal so viel wiegt, als eine gleich große Wassermasse.

Das specifische Gewicht ist also eine bloße Verhältnißzahl; zum Unterschiede von demselben nennt man das wirkliche (nach Pfunden oder Grammen u. dgl. ausgedrückte) Gewicht eines Körpers sein absolutes Gewicht.

Zu Folge des eben Vorgetragenen kommt bei der Bestimmung des specifischen Gewichtes eines Körpers alles darauf an, das Gewicht einer gleich großen Wassermasse zu finden, und hierzu bietet das archimedische Prinzip das ganz geeignete Mittel dar. Nachdem man nehmlich einen Körper auf gewöhnliche Weise in der Luft abgewogen hat, befestigt man denselben vermittelst eines dünnen Fadens an der etwas höher aufgehängten Schale einer Wage, so das derselbe in ein unter denselben aufgestelltes Gefäß mit Wasser taucht, Fig. 31, und bestimmt dann, wieviel der Körper jetzt weniger

Digitized by Google

(Fig. 31.)

wiegt. Da dieser Gewichtsverlust im Wasser das Gewicht einer gleich großen Wassermasse anzeigt, so braucht man nur noch mit demselben in das absolute Gewicht des Körpers zu dividiren, um das gesuchte specifische Gewicht zu erhalten.

Wiegt z. B. ein Mineral, dessen specifisches Gewicht bestimmt werden soll, in der Luft 863 Milligramm, und verliert dasselbe im Wasser 275 Milligramm an Gewicht, so ist das specifische Gewicht desselben

$$= \frac{863}{275} = 3{,}14.$$

Ist ein Körper leichter als Wasser, so verbindet man ihn mit einem schwereren Körper, für welchen man vorher sowohl sein absolutes Gewicht, als auch den Gewichtsverlust, den er im Wasser erleidet, bestimmt hat.

Wenn ein Körper, wie z. B. Steinsalz, im Wasser löslich ist, so bestimmt man den Gewichtsverlust, welchen derselbe in einer Flüssigkeit von bekanntem specifischem Gewicht, von der er nicht aufgelöst wird, z. B. in wasserfreiem Spiritus, erleidet. So vielmal Spiritus leichter ist, als Wasser, so vielmal würde auch der Gewichtsverlust des Körpers im Wasser größer, als im Spiritus sein.

Zur Bestimmung des specifischen Gewichtes von Flüssigkeiten dienen die Aräometer oder Senkwagen. Man unterscheidet Aräometer mit Gewichten und Scalen. Ein Aräometer der ersteren Art besteht aus einem hohlen birnförmigen Glase, welches unten mit einer gläsernen Kugel verbunden ist, in welcher sich etwas Quecksilber befindet, damit das Instrument im Wasser mit Stabilität schwimmt, Fig. 32. Oben läuft dasselbe in einen dünnen Hals aus, welcher eine kleine Schüssel trägt, die zum Auflegen von Gewichten bestimmt ist. An dem Halse ist an irgend einer Stelle eine feine Marke angebracht. Das Instrument pflegt so regulirt zu sein, daß das Gewicht desselben und die Gewichte, welche aufgelegt werden müssen, damit dasselbe im Wasser bis an die Marke einsinkt, zusammen durch die Zahl 1000 ausgedrückt werden. Ist z. B. das Gewicht des Instrumentes = 700, so sind die zu diesem Zwecke erforderlichen Gewichte = 300.

(Fig. 32.)

Um nun mit Hilfe dieses Instruments das specifische Gewicht irgend einer Flüssigkeit, z. B. des Spiritus zu finden, senkt man dasselbe in Spiritus und legt auf das Schüsselchen so lange Gewichte, bis das Instrument bis an die Marke einsinkt. Angenommen, daß das hierzu erforderliche Gewicht = 91 ist, so ist das Gewicht der durch das Instrument beim Einsenken bis zur Marke verdrängten Wassermasse = 700 + 91 = 791, und da das Gewicht einer eben so großen Wassermasse = 1000 ist, so ist folglich das specifische Gewicht des Spiritus $= \frac{791}{1000} = 0{,}791.$

Digitized by Google

Bei gemischten Flüssigkeiten, wie z. B. beim Branntwein, welcher aus einer Mischung von Spiritus und Wasser besteht, verlangt man häufig nicht sowohl das specifische Gewicht selbst zu wissen; sondern man will aus dem geringeren oder größeren specifischen Gewichte das Mischungsverhältniß der beiden Bestandtheile erkennen. Handelt es sich nun hierbei nicht um die äußerste Genauigkeit, so sind die Senkungen mit Scalen für den Gebrauch besonders bequem. Dieselben gründen sich auf den Satz, daß der nehmliche Körper in einer Flüssigkeit um so tiefer einsinkt, je geringer das specifische Gewicht derselben ist, und bestehen aus einer gläsernen Röhre, welche sich unten etwas erweitert und in eine Kugel endet, die etwas Quecksilber enthält, damit das Instrument mit Stabilität schwimmt, Fig. 33. An der engen Röhre, dem Halse des Instrumentes, ist eine Scale angebracht, deren Eintheilung in folgender Art erhalten wird. Man senkt das Instrument zunächst in reines Wasser und bezeichnet die Stelle des Halses, bis zu welcher das Instrument in diesem einsinkt, mit Null. Hierauf taucht man das Instrument in Mischungen, welche aus 10 Theilen Spiritus und 90 Theilen Wasser, 20 Theilen Spiritus und 80 Theilen Wasser u. s. w. bestehen, und bezeichnet die Stellen, bis zu denen das Instrument in denselben einsinkt, mit den Zahlen 10, 20 u. s. w. An die Stelle aber, bis zu welcher das Instrument im wasserfreien Spiritus einsinkt, schreibt man die Zahl 100. Den Zwischenraum zwischen den so erhaltenen Abtheilungen theilt man in je 10 gleiche Theile. Sinkt dann dieses Instrument in einem zu prüfenden Branntwein bis zur Zahl 27 ein, so enthält derselbe in 100 Theilen 27 Theile Spiritus. Da man dem absolut reinen Spiritus auch den Namen Alkohol giebt, so pflegt man dergleichen Instrumente auch Alkoholometer zu nennen.

(Fig. 33.)

In ähnlicher Art werden Salzspindeln für Mischungen von Salz und Wasser verfertigt.

Von der Bestimmung des specifischen Gewichtes der luftförmigen Körper wird weiter unten gehandelt werden.

Die folgende Tabelle giebt das specifische Gewicht für einige der bekanntesten festen und flüssigen Körper:

Platin, gemünzt	22,10	Spiegelglas	2,45
„ gegossen	20,85	Buchsbaumholz	1,33
Gold, gehämmert	19,36	Ebenholz	1,23
„ gegossen	19,26	Eichenkernholz	1,17
Quecksilber	13,60	Buchenholz, frisch	0,98
Blei	11,44	„ trocken	0,59
Silber, gehämmert	10,62	Lindenholz, frisch	0,82
„ gegossen	10,41	„ trocken	0,44
Kupfer gehämmert	9,00	Pappelholz	0,38
„ gegossen	8,79	Kork	0,24
Messing	8,40	Eis	0,93
Eisen, geschmiedet	7,79	Schwefelsäure, concentrirte	1,85
„ gegossen	7,25	Salpetersäure	1,50
Zinn, gegossen	7,29	Milch	1,03
Zink, gehämmert	7,86	Meerwasser	1,03
„ gegossen	7,21	Leinöl	0,94
Marmor	2,84	Oliven-, Rüb-, Mohnöl	0,92
Quarz, Kalkstein, Schiefer (ohngefähr)	2,70	Terpentinöl	0,87
Bouteillenglas	2,64	Alkohol	0,79
		Schwefeläther	0,73

Statik luftförmiger Körper.

Die luftförmigen Körper unterscheiden sich von den flüssigen dadurch, daß sie sich leicht in einen engern Raum zusammenpressen lassen und bei nachlassendem Drucke sich wieder ausdehnen; sie stimmen mit denselben in der Verschiebbarkeit und Schwere ihrer Theile überein.

Vermöge dieser beiden Eigenschaften übt die uns umgebende Luft auf alle in derselben befindlichen Körper einen Druck aus. Daß wir selbst diesen Druck nicht empfinden, rührt daher, daß die im Innern unsers Körpers befindliche Luft der äußeren das Gleichgewicht hält. Andererseits aber zeigt sich die Wirkung des Luftdrucks in zahllosen bekannten Erscheinungen. Wird in einer Handspritze, welche mit der Spitze unter Wasser getaucht ist, der Stempel in die Höhe gezogen, so steigt vermöge des äußern Luftdrucks das Wasser in der Röhre in die Höhe. Es würde ungereimt sein, dieses Emporsteigen als die Folge einer von dem Kolben ausgehenden Anziehung zu erklären, da bei dem Vorhandensein der kleinsten Oeffnung in der Röhre oder im Kolben, durch welche Luft eintreten kann, aller Erfolg ausbleibt. Druck der Luft.

Auch der Folgende, leicht anzustellende Versuch giebt uns einen Beleg für das Vorhandensein des Luftdrucks:

(Fig. 34.)

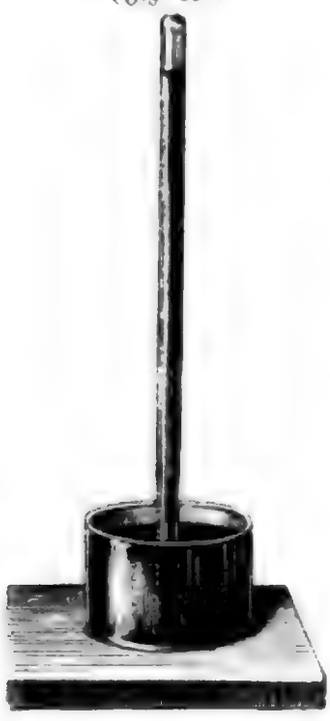
Wenn man ein Glas mit Wasser füllt, dasselbe mit einem Blatt Papier und hierauf dieses mit der flachen Hand bedeckt, Fig. 34, und dann das Glas umkehrt, so kann man die Hand wegziehen, ohne daß das Wasser ausläuft. Wir sehen hier äußerst deutlich, daß das Wasser durch die Luft, welche auf dasselbe drückt, getragen wird. Das Papierblatt dient nur dazu, zu verhindern, daß das Wasser und die drückende Luft sich nicht gegenseitig ausweichen, die Luft nicht in dem Wasser emporsteigen und das Wasser in der ausweichenden Luft herabsinken kann.

Wenn wir in diesem Versuche sehen, daß eine beträchtliche Wassermasse durch den Luftdruck getragen wird, so drängt sich uns die Frage nach der Grenze auf, welche die Wassermasse nicht überschreiten darf, um noch von der Luft getragen zu werden. Stellen wir den Versuch mit dem höchsten Glase, ja selbst mit der längsten Röhre, welche wir auftreiben können, an, immer wird sich der nehmliche Erfolg zeigen, die Größe des Luftdrucks wird das Gewicht der Wassersäule übertreffen, erst wenn diese eine Länge von 32 Fuß erreichte oder überstiege, würde dieses nicht mehr der Fall sein, indem der Luftdruck nur einer Wassersäule von (ohngefähr) 32 Fuß Höhe das Gleichgewicht zu halten vermag.

Wir verdanken die Kenntniß dieser Größe einem italienischen Physiker Torricelli, welcher zuerst im Jahre 1643 durch einen für die damalige Zeit äußerst wichtigen Versuch das Vorhandensein des Luftdruckes außer Zweifel setzte und zugleich die Größe desselben abmaß. Torricelli wendete zu diesem Zwecke nicht Wasser, sondern Quecksilber an. Da dieses (beinah) 14mal schwerer als Wasser ist, so wird auch die Quecksilbersäule, welche dem Luftdrucke das Gleichgewicht hält, 14mal kürzer sein, als eine dasselbe leistende Wassersäule, und während es zu dem angegebenen Zwecke bei der Füllung mit Wasser einer mehrere dreißig Fuß langen und daher schwer zu handhabenden Röhre bedurft haben würde, genügt bei Anwendung von

igitized by Google

(Fig. 35.)



Barometer.

Queckſilber eine Röhre von etwa 30 Zoll Länge. Wenn man eine ſolche mit Queckſilber füllt, das obere Ende mit dem Finger ſchließt, hierauf die Röhre umkehrt, mit dem offenen Ende in ein Gefäß mit Queckſilber taucht und dann den Finger wegzieht, ſo fällt das Queckſilber in der Röhre nur um etwa zwei Zoll und bleibt in derſelben in der Höhe von (ohngefähr) 28 Zoll über dem Queckſilber in dem Gefäße ſtehen, Fig. 35. Auf die Oberfläche des Queckſilbers im Gefäße drückt die Luft; über dem Queckſilber in der Röhre iſt ein luftleerer Raum. Der Druck, welchen die Luft auf das Queckſilber im Gefäße ausübt, iſt daher eben ſo groß, als das Gewicht der Queckſilberſäule von 28 Zoll Länge in der Röhre, über welcher Säule ſich ein luftleerer Raum befindet.

Fügen wir zu dem in Fig. 35 abgebildeten Apparate, welcher ſich durch den beſchriebenen Verſuch ergeben hat, noch eine die Höhe des Queckſilbers in der Röhre über dem Queckſilber im Gefäße meſſende Scale, einen in Zolle und Linien eingetheilten Maßſtab hinzu, ſo erhalten wir das allgemein bekannte und verbreitete **Barometer**, deſſen eigentliche Beſtimmung alſo darin beſteht, die Größe des Luftdruckes zu meſſen. Ehe wir jedoch von dem Gebrauche und den Erforderniſſen eines Barometers, welches zu wiſſenſchaftlichen Beobachtungen dienen ſoll, handeln, wollen wir vorher noch einige aus dem Toricelli'ſchen Verſuche ſich ergebende Folgerungen ziehen.

Größe des Luftdrucks.

Wie aus demſelben unmittelbar hervorgeht, iſt der Druck, welchen die Oberfläche eines jeden in der Luft befindlichen Körpers erleidet, dem Gewichte einer Queckſilberſäule gleich, welche dieſe Oberfläche zur Grundfläche und 28 Zoll zur Höhe hat. Nehmen wir als Grundfläche einen Quadratzoll an, ſo erleidet dieſe von der Luft einen Druck, welcher dem Gewichte von 28 Kubikzoll Queckſilber, d. h. dem ohngefähren Gewichte von 15 Pfund gleich iſt, woraus ſich dann für einen Quadratfuß = 144 Quadratzoll ein Druck von mehr als 2000 Pfund und für die Oberfläche eines erwachſenen Menſchen, welche man zu ohngefähr 15 Quadratfuß annehmen kann, ein Druck von mehr als 30,000 Pfund ergiebt. Daß wir dieſen ungeheuren Druck ertragen, ja ſogar ohne das Geringſte von demſelben zu empfinden, erklärt ſich, wie ſchon oben bemerkt, durch den Gegendruck der im Innern unſers Körpers eingeſchloſſenen Luft, welche ſich vermöge ihrer Elaſticität mit einer eben ſo großen Kraft auszudehnen ſtrebt, mit welcher dieſelbe durch die äußere Luft zuſammengedrückt wird, und welche ihrerſeits durch dieſes Streben ſich auszudehnen, ſehr unangenehme Erſcheinungen, wenn ihr nicht der äußere Luftdruck entgegenwirkt, hervorbringen würde, wie dieß z. B. Perſonen erfahren, welche raſch in Luftballons emporſteigen, indem dieſelben in Folge des verminderten äußern Luftdrucks einen Drang des Blutes nach Außen, beſonders in den Augen und den Naſenöffnungen empfinden.

Schwankungen des Barometers.

Der Luftdruck, deſſen Stärke wir uns durch das Vorhergehende veranſchaulicht haben, hat nicht beſtändig eine ganz gleiche Größe, derſelbe nimmt, wie wir aus dem abwechſelnden Steigen und Fallen des Barometers ſehen, ab und zu. In unſern Breiten betragen dieſe Schwankungen etwa 2 Zoll,

Digitized by Google

das Barometer sinkt zuweilen bis unter 27 Zoll und erhebt sich bis gegen 29 Zoll. Diese Schwankungen sind noch beträchtlicher in höheren Breiten, weit geringer aber in der heißen Zone, wo sie nur wenige Linien umfassen, und während sie bei uns ganz unregelmäßig erfolgen, einen periodischen Wechsel zeigen. Das Barometer steigt nehmlich dort regelmäßig von 4 Uhr Morgens bis gegen 10 Uhr Morgens, fällt dann bis gegen 4 Uhr Nachmittags, worauf es wieder bis gegen 10 Uhr Abends steigt und abermals bis 4 Uhr Morgens fällt.

Diese regelmäßigen Schwankungen des Barometers in den Tropenländern finden nach Dove in Berlin ihre Erklärung darin, daß einerseits mit der zunehmenden Tageswärme in Folge der Verdunstung der Dampfgehalt der Atmosphäre, also auch das Gewicht derselben zunimmt, zur Nachtzeit aber durch den niederfallenden Thau vermindert wird, andererseits die durch die Sonnenstrahlen am Tage erhitzte und ausgedehnte Luftsäule oben abfließt und also leichter wird, zur Nachtzeit dagegen, indem dieselbe in Folge der Abkühlung sich zusammenzieht, durch seitliches Zuströmen vermehrt und also schwerer wird. Indem nun beide Ursachen in gerade entgegengesetztem Sinne, aber nicht mit gleichbleibender, sondern mit wechselnder Stärke wirken und sowohl am Tage, als auch in der Nacht bald die eine, bald die andere überwiegt, so erreicht der Luftdruck innerhalb 24 Stunden zwei größte und zwei kleinste Werthe.

Mit dieser Regelmäßigkeit treten jedoch die Luftschwankungen nur in den tropischen Gegenden auf, wo entweder das ganze Jahr hindurch der Nord- oder Südostpassat unausgesetzt in derselben Richtung weht, oder gänzliche Windstille mit den heftigsten Stürmen, welche dann auch in dem Gange des Barometers eine plötzliche Störung hervorrufen, wechselt. In den höheren Breiten, in welchen die Luftströmungen in unregelmäßigem Wechsel bald aus der einen, bald aus der andern Himmelsgegend wehen, zeigen auch die Schwankungen des Barometers den nehmlichen unregelmäßigen Gang.

Im Allgemeinen steht bei uns das Barometer bei nördlichen und östlichen Winden, welche uns trockene, kalte und eben darum schwerere Luft zuführen, höher, als bei südlichen und westlichen Winden, welche sowohl wegen ihrer höheren Temperatur, als auch wegen ihres größeren Dampfgehaltes, da die Dämpfe leichter als atmosphärische Luft sind, einen geringeren Druck auf das Barometer ausüben. Da nun der Regen uns mehrentheils durch südwestliche Winde zugeführt wird, während nordöstliche Winde gewöhnlich heitere Witterung bringen, so ersieht man schon hieraus einen nahen Zusammenhang zwischen dem Verlauf der Witterung und den Schwankungen des Barometers. Wenn nach dem eben Gesagten beide vorzugsweise von der Richtung des Windes und dem Wechsel derselben bedingt werden, so kommt noch hinzu, daß sehr oft eine veränderte Luftströmung eher in den obern, als in den untern Regionen eintritt, und indem dieselbe bereits ihren Einfluß auf das Barometer äußert, ein Steigen oder Fallen desselben der Drehung unserer Windfahnen und dem Wechsel der Witterung vorangeht. In der That kann in den meisten Fällen das Steigen des Barometers als ein Vorbote trockener Witterung, das Fallen als ein Anzeichen bevorstehenden Regenwetters angesehen werden. Plötzliches und starkes Fallen geht gewöhnlich heftigen Stürmen voran.

Will man sich des Barometers nur bedienen, um mit einiger Wahrscheinlichkeit auf die zu erwartende Witterung zu schließen, so wird hierzu auch ein mit weniger Sorgfalt und für geringen Preis zu erwerbendes In-

strument ausreichen. Man wird nur darauf zu sehen haben, daß die Röhre nicht allzu eng ist, damit nicht durch zu starke Adhäsion des Queckſilbers an der Röhre die freie Beweglichkeit desſelben zu sehr beeinträchtigt wird. Außerdem wird man ſich weniger an die den verſchiedenen Barometerſtänden beigedruckten Angaben über die Witterung, als vielmehr an die Regel zu halten haben, daß mit dem Steigen die Hoffnung auf freundliches, mit dem Fallen die Beſorgniß vor unfreundlichem Wetter vermehrt wird.

Da bei zu- oder abnehmendem Luftdrucke offenbar alle Barometer, deren Röhre nicht zu eng ist, wie unvollkommen auch übrigens ihre Conſtruction ſein mag, ſteigen oder fallen müſſen, ſo iſt es natürlich eine lächerliche Anſicht, wenn jemand meint, in Beziehung auf Witterungsanzeichen ein beſonders richtiges Barometer zu beſitzen.

Luftleeres Barometer.

Wenn dagegen das Barometer zur genauen Abmeſſung des Luftdruckes, deſſen Kenntniß in unzähligen Fällen für den Phyſiker von der äußerſten Wichtigkeit iſt, dienen ſoll, ſo iſt das weſentlichſte, aber freilich auch am ſchwerſten zu erreichende Erforderniß eines für dieſe Zwecke tauglichen Barometers, daß der Raum über dem Queckſilber in der Röhre, das ſogenannte Torricelli'ſche Vacuum, völlig frei von Luft iſt. Es genügt hierzu nicht, wie oben beſchrieben, die Röhre ganz mit Queckſilber zu füllen, die Luft wird hierdurch allein nicht vollſtändig ausgetrieben, indem dieſelbe theils den Wänden der Röhre innig adhärirt, theils auch in dem Queckſilber ſelbſt, ſo wie in allen andern Flüſſigkeiten Luft enthalten iſt. Um dieſe gänzlich zu entfernen, muß das Queckſilber in der Röhre ausgekocht werden; ja man muß ſogar bei dem nehmlichen Barometer von Zeit zu Zeit dieſe ſchwierige und gefährliche Operation wiederholen, weil das Queckſilber im Barometer allmählich wieder aus der Atmoſphäre Luft aufnimmt.

So zahllos auch die Fälle ſind, in denen dem Phyſiker bei ſeinen Unterſuchungen eine genaue Kenntniß des Luftdruckes, alſo Beobachtung des Barometerſtandes unentbehrlich iſt, ſo würden wir doch durch ein näheres Eingehen hierauf theils dem Folgenden vorgreifen, theils würde uns dieſes überhaupt zu weit führen. Wir beſchränken uns daher auf eine Anwendung, welche weſentlich und faſt ausſchließlich auf der Beobachtung des Barometers beruht, nehmlich auf das barometriſche Höhenmeſſen.

Barometriſches Höhenmeſſen.

Da mit dem Emporſteigen in der Atmoſphäre ſich der Druck der Luft offenbar um das Gewicht der Luftſäule, um welche wir geſtiegen ſind, vermindert, ſo muß folglich auch das Barometer um die Länge einer Queckſilberſäule fallen, welche mit jener Luftſäule ein gleiches Gewicht hat. Nun iſt die Luft an der Erdoberfläche ohngefähr 10,500 mal leichter als Queckſilber. Das Queckſilber im Barometer wird daher um eine Linie fallen müſſen, wenn wir uns in der Luft um 10,500 Linien oder ohngefähr um 73 Fuß erheben, und wir werden daher umgekehrt ſchließen können, daß ein erhöhter Standpunkt um 73 Fuß ſich über dem Fußboden befindet, wenn an jenem das Barometer um eine Linie niedriger, als an dieſem ſteht. Hat man bereits eine Höhe von 73 Fuß erreicht, ſo reicht es jetzt nicht aus, abermals 73 Fuß zu ſteigen, wenn das Barometer wieder eine Linie fallen ſoll; man wird ſich vielmehr, da die Dichtigkeit der Luft mit der Höhe abnimmt, jetzt um mehr als 73 Fuß erheben müſſen. Wollte man daher, um die Höhe, um welche man geſtiegen iſt, in Fußen zu erhalten, 73 Fuß mit der Zahl der Linien, um welche das Barometer gefallen iſt, multipliciren, ſo würde man eine zu kleine Zahl für die geſuchte Höhe erhalten.

Digitized by Google

Um nun mit Leichtigkeit aus der Verschiedenheit der an zwei Standorten beobachteten Barometerstände den Unterschied derselben herleiten zu können, sind besondere Tabellen berechnet, welche den Namen hypsometrische Tabellen führen. — Außer der Ungleichheit des Luftdruckes hat man beim barometrischen Höhenmessen auch noch die Temperatur und den Feuchtigkeitsgehalt der Luft zu berücksichtigen, indem warme Luft natürlich leichter, als kalte, und ebenso feuchte Luft leichter, als trockne ist.

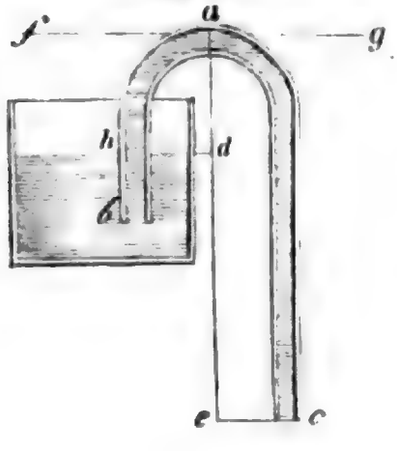
Das barometrische Höhenmessen hat vor dem direkten Nivellement oder der trigonometrischen Messung den Vorzug, daß sich dasselbe so leicht und mit geringem Zeitaufwande ausführen läßt. Andererseits gewährt, zumal ein einziges Paar zu gleicher Zeit an zwei Orten angestellter Barometerbeobachtungen nur einen geringen Grad von Zuverlässigkeit. Um sicherere Resultate zu erhalten, sind zahlreiche und längere Zeit hindurch zur gleichen Tagesstunde an beiden zu vergleichenden Orten angestellte Beobachtungen erforderlich, um so die zufälligen Ungleichheiten, welche an einzelnen Tagen in dem Zustande der über beiden Orten lagernden Atmosphäre durch Luftströmungen oder andere Umstände herbeigeführt werden, zu beseitigen. Beobachtungen an sehr windigen Tagen, oder an solchen Tagen, an denen das Barometer unregelmäßige Schwankungen macht, sind von der Rechnung ganz auszuschließen. Das aus einem einzigen Paar correspondirender Beobachtungen gewonnene Resultat wird, wenn die Umstände für diese günstig waren, nicht leicht um mehr als 10 Fuß für je Tausend von der Wahrheit abweichen. Besonders für den noch unerforschte Gebirge bereisenden Naturforscher bildet das Barometer einen wichtigen und unentbehrlichen Begleiter.

Gekrümmter Heber.

Eine der interessantesten Vorrichtungen, welche auf dem Luftdrucke beruhen, ist der Heber. Dieser besteht aus einer wie ein U gebogenen Röhre. Wird diese mit Wasser gefüllt, dann mit dem kürzeren Schenkel in ein Gefäß mit Wasser getaucht und hierauf der längere Schenkel geöffnet, so fließt das Wasser durch denselben so lange aus, als der kürzere Schenkel ins Wasser taucht. Der Heber bietet so das ungewöhnliche Schauspiel eines sich aufwärts bewegenden Wasserstromes dar, ohne daß die Kraft sichtbar wäre, durch welche diese Bewegung hervorgebracht wird. Die Höhe jedoch, zu welcher das Wasser im Heber gehoben werden kann, darf 32 Fuß, d. h. die Länge einer Wassersäule, welche dem Luftdrucke das Gleichgewicht zu halten vermag, nicht übersteigen. Denn der Druck der Luft ist es, welcher das Wasser im Heber emportreibt.

Indem nehmlich die Luft sowohl auf die Oberfläche der Flüssigkeit im Gefäße, als auch auf die äußere Oeffnung drückt, pflanzt sich dieser beiderseitige Druck, welcher bekanntlich dem Gewichte einer Wassersäule von 32 Fuß Höhe gleich ist, auch durch die Flüssigkeit im Innern des Hebers fort. Indem aber das Gewicht der Flüssigkeit diesem Drucke entgegenwirkt, ist der Druck, welchen z. B. ein Wassertheilchen oben bei a, Fig. 36, vermöge des auf die Oberfläche des Wassers im Gefäße ausgeübten Luftdruckes erfährt, und mit dem dasselbe also in der Richtung ag fortgetrieben wird, nur noch gleich dem Gewicht einer Wassersäule von der Höhe 32 Fuß weniger ad.

(Fig. 36.)



igitized by Google

Dasselbe Wassertheilchen wird aber auch in der entgegengesetzten Richtung af vermöge des auf die äußere Oeffnung ausgeübten Luftdrucks mit einer Kraft fortgetrieben, welche gleich ist dem Gewichte einer Wassersäule von der Höhe 32 Fuß weniger ae.

Die erstere Kraft übertrifft aber die letztere um das Gewicht einer Wassersäule von der Höhe de, d. h. einer Wassersäule, welche die Tiefe der äußern Oeffnung unter dem Wasserspiegel zur Höhe hat. Da sich nun das Nehmliche offenbar ebenso für jedes an einer beliebigen anderen Stelle im Heber befindliche Wassertheilchen zeigen läßt, so strömt die Flüssigkeit aus dem äußern Schenkel des Hebers mit einer der Größe der angezeigten Kraft entsprechenden Geschwindigkeit, also mit einer um so größeren Geschwindigkeit aus, je tiefer die Mündung des äußern Schenkels unter dem Wasserspiegel im Gefäße liegt. Ist der äußere Schenkel kürzer als der innere, so hört das Wasser auf, durch den Heber auszufließen, sobald derselbe im Gefäße bis in gleiche Höhe mit der Mündung des äußern Schenkels gesunken ist.

Man benutzt den Heber, um Flüssigkeiten aus feststehenden Gefäßen in andere überzuleiten.

Gesetz des Mariotte.

Ehe wir von andern Erscheinungen, welche hauptsächlich auf dem Drucke der Luft, also auf der Schwere derselben beruhen, handeln, haben wir uns noch vorher mit einer zweiten Eigenschaft, nehmlich mit der Elasticität der Luft und dem Gesetze, von welchem die Größe derselben abhängt, näher bekannt zu machen. Bekanntlich ist die Luft im höchsten Grade elastisch; sie wird bei zunehmendem Drucke in einen engern Raum zusammengepreßt und dehnt sich bei nachlassendem Drucke wieder aus. Boyle in England hat zuerst 1660 gezeigt, daß das Volumen der Luft in dem nehmlichen Verhältnisse sich vermindert, in welchem der ausgeübte Druck vermehrt wird, daß also bei zwei-, drei-, viermal so starkem Drucke die Luft in einen zwei-, drei-, viermal engern Raum zusammengepreßt wird. Dieses Gesetz, welches gewöhnlich das Mariotte'sche Gesetz genannt wird, weil Mariotte in Frankreich vorzüglich durch seine Schriften die Kenntniß desselben verbreitet hat, verliert aber bei sehr starkem Drucke, wie Natterer und Redtenbacher in neuerer Zeit gezeigt haben, seine Giltigkeit und gilt nach Regnault auch bei mäßigerem Drucke nicht mit mathematischer Genauigkeit. Die Abweichungen sind jedoch selbst bis zu einem Drucke von 20 Atmosphären so gering, daß wir noch immer mit Boyle und Mariotte das Gesetz:

die Elasticität der Luft wächst in gleichem Verhältnisse mit ihrer Dichtigkeit,

für die hier zu erörternden Erscheinungen festhalten können.

Wir führen unter diesen zunächst an:

Das Athmen, bei welchem durch Zusammenziehung des Brustkastens die Luft in den Lungen verdichtet und daher ihre Elasticität vermehrt wird, so daß dieselbe jetzt über die äußere Luft das Uebergewicht erhält und durch die Luftröhre ausströmt, während bei Erweiterung des Brustkastens und der Lungen die Luft in diesen verdünnt wird, so daß jetzt die äußere Luft das Uebergewicht erhält und in die Lungen einströmt.

Ferner das Trinken und Saugen, bei welchem ebenfalls durch Ausdehnung der Lungen die Luft in diesen und in der Mundhöhle verdünnt wird, in Folge dessen die mit den Lippen in unmittelbarer Berührung gebrachte oder durch ein Röhrchen verbundene Flüssigkeit, da sie nun von der äußern Luft

igitized by Google

einen stärkeren Druck erleidet, in den Mund eintritt und über den Kehldeckel durch die Speiseröhre in den Magen gelangt.

Stechheber.

Eine sehr einfache, auf dem Mariotte'schen Gesetze beruhende Vorrichtung ist der Stechheber, Fig. 37. Dieser besteht aus einer oben bauchig erweiterten, unten in eine feine Spitze auslaufenden Röhre. Taucht man den oben offenen Heber in eine Flüssigkeit, so steigt dieselbe in dem Heber zu der nehmlichen Höhe wie im Gefäße empor, und die Flüssigkeit behält diesen Stand bei, wenn man die Oeffnung mit dem Finger verschließt, weil die in dem Heber über der Flüssigkeit befindliche Luft mit der äußern gleiche Dichtigkeit, also auch gleiche Elasticität hat. Zieht man jetzt bei verschlossener oberer Oeffnung den Heber aus der Flüssigkeit heraus, so fließt von der in dem Heber befindlichen Flüssigkeit nur ein kleiner Theil aus. Durch dieses Ausfließen wird nehmlich die Luft über der Flüssigkeit in dem Helm verdünnt, also ihre Elasticität vermindert und das Ausfließen muß daher aufhören, wenn die Luft so stark verdünnt ist, daß der Druck der verdünnten Luft und der eingeschlossenen Flüssigkeit zusammen dem Drucke der äußern Luft das Gleichgewicht halten. Das Ausfließen wiederholt sich, wenn der Finger von der obern Oeffnung entfernt wird; indem nehmlich die Luft dann mit gleicher Stärke von oben und unten auf die Flüssigkeit drückt, muß diese vermöge ihrer Schwere durch die untere Oeffnung ausströmen.

(Fig. 37.)

Ein wesentliches Erforderniß des Stechhebers besteht darin, daß die untere Oeffnung so eng ist, daß die Luft und die Flüssigkeit sich nicht gegenseitig ausweichen können.

Wäre die Oeffnung zu weit, so würden durch dieselbe Luftblasen eintreten und in der Flüssigkeit emporsteigen; hierdurch würde die Luft über dieser schon für sich allein mit der äußern ins Gleichgewicht treten und daher auch bei geschlossener oberer Oeffnung die Flüssigkeit vermöge ihrer Schwere durch die untere Oeffnung abfließen.

Ist dagegen die Oeffnung hinreichend eng, so daß durch dieselbe keine Luftblasen neben der Flüssigkeit eindringen können, so strömt die Flüssigkeit nur dann in einem ununterbrochenen Strahle durch die untere Oeffnung aus, wenn die obere Mündung geöffnet ist.

(Fig. 38.)

Zu dem nehmlichen Zwecke wird an einem Fasse welches man abzapfen will, der Spund geöffnet; in den Deckeln der Thee- und Kaffeekannen, der Oelbehälter an Lampen eine kleine Oeffnung angebracht u. dgl. m.

Saug- und Druckpumpe.

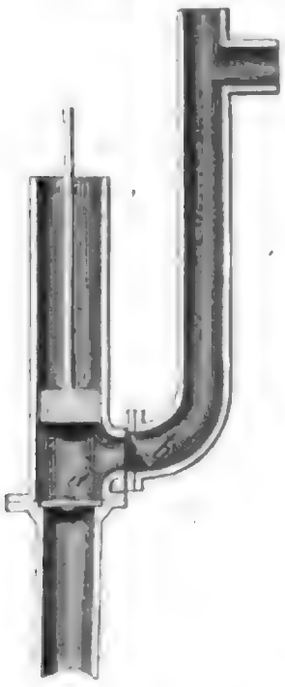
Zu den verbreitetsten, auf dem Mariotte'schen Gesetze beruhenden Vorrichtungen gehören ferner die Saug- und die Druckpumpe.

An der erstern unterscheiden wir den Stiefel, den Kolben und das Saugrohr, welches bis unter die Oberfläche des Wassers reicht. Zwischen dem Stiefel und Saugrohr ist das Ventil a, Fig. 38, und in dem Boden des Kolbens das Ventil b angebracht. Beide Ventile können sich nur nach oben öffnen. Wird der Kolben in die Höhe gezogen, so schließt sich das Ventil b, das

Digitized by Google

Ventil a aber öffnet sich und die Luft wird im Stiefel und im Saugrohr verdünnt, in Folge dessen das Wasser in dieser emporsteigt. Beim Niedergange des Kolbens schließt sich das Ventil a und b öffnet sich, um der im Stiefel enthaltenen Luft den Ausweg zu gestatten; die Luft bleibt daher in dem Saugrohr verdünnt und das Wasser in die Höhe gehoben. Wird jetzt der Kolben aufs Neue in die Höhe gezogen, so nimmt auch die Verdünnung der Luft in dem Saugrohre und die Höhe des Wassers in demselben zu, bis dieses endlich durch das Ventil a in den Stiefel und beim Niedergange des Kolbens durch das Ventil b über diesen tritt und beim Aufsteigen des Kolbens bis zu der Einmündung des Ausgußrohrs gehoben wird.

(Fig. 39.)



Da der Druck der Luft nur einer Wassersäule von (ohngefähr) 32 Fuß Länge das Gleichgewicht zu halten vermag, so darf auch bei einer aufs vollkommenste construirten Pumpe das Saugrohr diese Höhe nicht übersteigen.

Die Druckpumpe unterscheidet sich von der Saugpumpe nur darin, daß mit dem Stiefel nahe am Boden desselben die aufwärtsgehende Steigeröhre verbunden ist und da, wo diese in den Stiefel einmündet, ein sich in dieselbe öffnendes Ventil b, Fig. 39, angebracht ist, in dem Kolben aber ein solches fehlt. Das durch wiederholte Kolbenzüge bis in den Stiefel emporgehobene Wasser wird beim Niedergange des Kolbens durch das Ventil b in die Steigröhre getrieben, bis es endlich in dieser die Höhe des Ausflußrohres erreicht.

(Fig. 40.)

Heronsball.

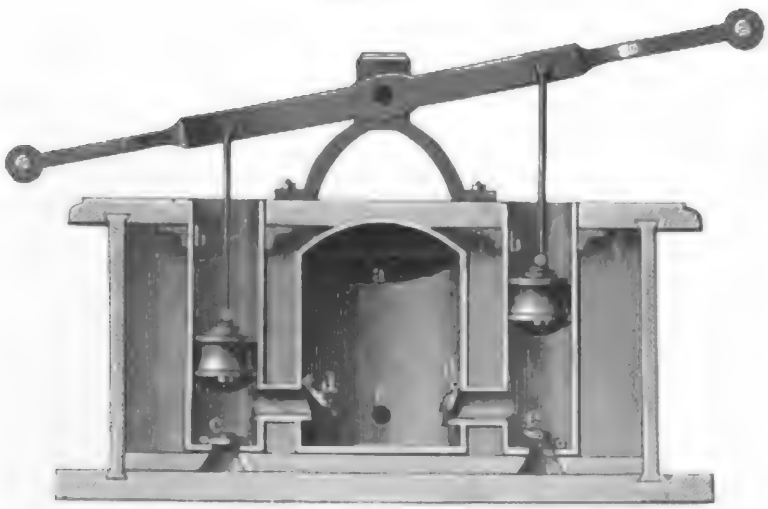
Eine besonders lehrreiche Vorrichtung bietet der Heronsball, Fig. 40, dar, bei welchem das Wasser nicht wie in dem Saugrohr der Pumpen durch Verdünnung der Luft emporgehoben, sondern durch verdichtete Luft ausgetrieben wird. Der Heronsball besteht nehmlich aus einem Gefäße, in welches eine Röhre, welche oben in eine feine Oeffnung endet, bis nahe an den Boden herabreicht. Ist der Heronsball etwa bis zur Hälfte mit Wasser gefüllt und wird die Luft in demselben, z. B. durch Einblasen mit dem Munde durch die äußere Oeffnung verdichtet, so bekommt die innere verdichtete Luft über die äußere das Uebergewicht und treibt das Wasser durch die Röhre, wenn die äußere Oeffnung nicht verschlossen ist, in einem Strahle hervor.

Feuerspritze.

Der Heronsball findet eine höchst nützliche Anwendung in der Feuerspritze, bei welcher er den Namen Windkessel führt. Zu beiden Seiten des Windkessels sind zwei Druckpumpen b und b angebracht, welche, so wie der Windkessel, in einem großen Behälter mit Wasser stehen, Fig. 41. Beim Aufsteigen des Kolbens tritt das Wasser aus dem Kasten durch das Ventil c in den Stiefel, aus welchem es beim Niedergange des Kolbens durch das Ventil d in den Windkessel a getrieben wird. Indem es sich in diesem anhäuft, wird die in demselben befindliche Luft mehr und mehr verdichtet. — In dem Windkessel befindet sich entweder in ähnlicher Art wie beim Heronsball, ein bis nahe an den Boden reichendes Rohr, welches äußerlich in einen beweglichen Hals ausläuft;

igitized by Google

(Fig. 41.)



oder es ist nahe am Boden eine Oeffnung e angebracht, an welche sich ein Schlauch anschrauben läßt der in ein messingnes Rohr mit enger Mündung endet. Dieses Rohr ist mit einem Hahn versehen, bei dessen Oeffnung das Wasser vermöge des durch die verdichtete Luft in dem Windkessel ausgeübten Druckes in einem zusammenhängenden Strahle aus dem Rohre ausspritzt. Ohne den Windkessel würde das Wasser bei jedem Niedergange eines Kolbens stoßweise ausgetrieben werden.

Die große Kraft der verdichteten Luft zeigt besonders auffallend die Windbüchse. Dieselbe besteht aus dem Laufe und dem hohlen Kolben, Fig. 42, welcher durch ein sich nach Innen öffnendes Ventil verschlossen ist. Um die Luft in demselben zu verdichten, dient die Compressionspumpe, Fig. 43. Diese besteht aus einem Stiefel, in welchem sich ein Kolben luftdicht auf und niederbewegt. Am untern Ende des Stiefels ist ein engerer Hals angebracht, an welchem der hohle Kolben der Windbüchse, Fig. 42, oder ein anderes Gefäß, in welchem die Luft verdichtet werden soll, angeschraubt wird. Beim Niedergange des Kolbens wird die in dem Stiefel enthaltene Luft in das angeschraubte Gefäß, wenn sich das Ventil desselben öffnet, gepreßt. Das Ventil schließt sich dagegen, wenn der Kolben in die Höhe gezogen wird, und die Luft bleibt in dem Gefäße verdichtet. Um den Stiefel aufs Neue mit Luft zu füllen, ohne den Kolben ganz herauszuziehen, ist seitwärts in demselben bei a, Fig. 43, eine kleine Oeffnung angebracht.

(Fig. 42.)

Compressionspumpe.

(Fig. 43.)

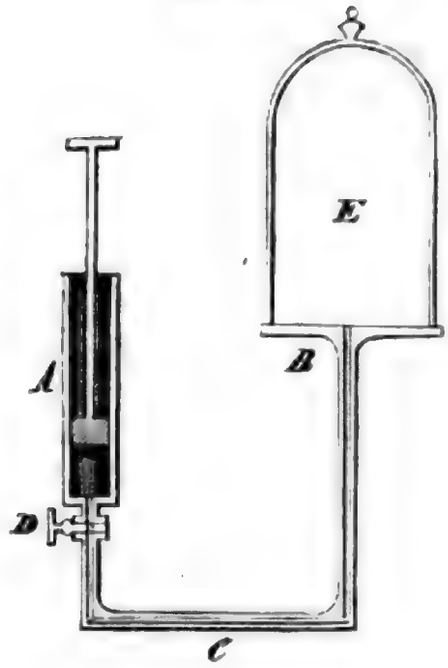
Ist in dem hohlen Kolben der Windbüchse die Luft hinreichend verdichtet, so wird an demselben der Lauf angeschraubt. Wird dann vermittelst eines Drückers das an dem hohlen Kolben befindliche Ventil auf einen Augenblick geöffnet, so tritt die Luft mit Heftigkeit in den Lauf und treibt die in diesem befindliche Kugel mit großer Kraft heraus.

Unter allen Vorrichtungen, welche sich auf die Ausdehnsamkeit der Luft stützen, ist die lehrreichste und für den Physiker wichtigste die Luftpumpe. Die wesentlichsten Theile einer Luftpumpe sind der Stiefel A, Fig. 44, in welchem sich ein Kolben luftdicht auf und nieder bewegen läßt, der sorgfältig abgeschliffene Teller B, auf welchem

Luftpumpe.

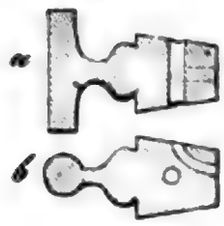
Digitized by Google

(Fig. 44.)



sich eine gläserne Glocke, deren Rand ebenfalls sorgfältig abgeschliffen ist, luftdicht aufsetzen läßt, und der Hahn D, welcher nahe am Boden des Stiefels in der Röhre C, welche diesen mit dem Teller verbindet, angebracht ist. Dieser Hahn hat eine doppelte Bohrung, wie dieß die in größerem Maaßstabe ausgeführten Abbildungen, Fig. 45, a und b, zeigen. Bei der Stellung a ist der Recipient mit dem Stiefel verbunden, die äußere Luft aber von beiden abgesperrt, wird jetzt der Kolben in die Höhe gezogen, so dehnt sich die Luft in dem Recipienten bis an den Stiefel aus und wird folglich verdünnt. Damit dieselbe nun beim Niedergange des Kolbens nicht wieder verdichtet wird, so wird der Hahn vorher um 90° in die Stellung b gedreht, bei welcher der Recipient gänzlich abgesperrt ist, die in dem Stiefel enthaltene Luft aber nach außen entweichen kann. Wird der Kolben abermals in die Höhe gezogen, nachdem der Hahn vorher in die Stellung a gedreht worden ist, so wird die Luft in dem Recipienten aufs Neue verdünnt und so fort bei jedem folgenden Kolbenzuge.

(Fig. 45.)



Wiewohl nun die Verdünnung immer mehr zunimmt, so giebt es doch für alle Luftpumpen eine gewisse Grenze, über welche sich dieselbe nicht treiben läßt, da auch die aufs sorgfältigste construirten Luftpumpen keine absolute Vollkommenheit besitzen. Auch die allerbesten Luftpumpen vermögen kaum eine tausendfache Verdünnung hervorzubringen. Uebrigens reicht man bei den meisten mit der Luftpumpe anzustellenden Versuchen schon mit einem weit geringeren Grade der Verdünnung aus. — Die hervorgebrachte Verdünnung läßt sich vermittelst eines sehr kurzen Barometers abmessen, welches man unter den Recipienten stellt, Fig. 46.

Sehr gewöhnlich werden bei Luftpumpen zwei Stiefel angebracht, an deren Kolben gezähnte Stangen befestigt sind, deren Zähne in ein Zahnrad eingreifen, welches durch eine Kurbel in Bewegung gesetzt wird. Indem der eine Kolben gegen den äußern Luftdruck aufwärts bewegt wird, während der andere den Luftdruck niederwärts treibt, unterstützen sich dieselben gegenseitig in ihrer Bewegung. Fig. 46*) stellt eine zweistiefelige Luftpumpe nach ihrem äußern Ansehen dar.

Unter den zahlreichen mit der Luftpumpe auszuführenden Versuchen heben wir als besonders lehrreich den folgenden heraus:

Schon nach wenigen Kolbenzügen haftet der Recipient fest an dem Teller, in dem jetzt der äußere Luftdruck über den Druck der innern verdünnten Luft das Uebergewicht hat. Will man den Recipienten wieder abheben, so dreht

*) Diese und einige andere Figuren sind mit einiger Abänderung aus der durch schöne Abbildungen ausgezeichneten Experimentalphysik von Grothe (Hagen, 1850) entlehnt.

(Fig. 46.)

von der Seite in die entgegengesetzte Richtung um Fig. 45, so kann die Kurbel nur bis zu der Stellung gedreht werden, in welcher die Kurbelstange mit der Kurbel eine gerade Linie bildet, überdrehen hat, so wird sich bei rechter Verbindung doch ein Bruch nicht ereignen.

Die Kurbelwelle allerdings, welche mit dem angetriebenen Motive gemacht wurden, haben sich als eine Schwäche bewiesen, die, wie

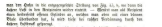


Fig. 47.

Fig. 48.

Fig. 49.

Fig. 50.

Fig. 51.

Fig. 52.

Fig.

Teller abgeschraubt, so lassen sich dieselben auch bei Anwendung einer beträchtlichen Kraft nicht auseinander reißen; sie können aber ganz leicht auseinander gezogen werden, wenn man den Hahn öffnet und die Luft eintreten läßt.

Otto von Guerike, der Erfinder der Luftpumpe, stellte auf dem Reichstage zu Worms im Jahre 1654 diesen und verschiedene andere Versuche mit der Luftpumpe an und versetzte hierdurch den Kaiser und die versammelten Reichsfürsten in das äußerste Erstaunen. Die beiden Halbkugeln, deren sich Guerike bediente, hatten eine Magdeburger Elle im Durchmesser, und 24 Pferde vermochten dieselben nicht auseinander zu reißen. Eine leichte Rechnung zeigt jedoch, daß der Druck der Luft, welcher die beiden Halbkugeln zusammenpreßte, noch nicht dem Gewicht von 6000 Pfund gleich kam. Wenn wir nun die Kraft, welche ein Pferd bei gehöriger Anstrengung seiner Muskeln auszuüben vermag, auf 200 Pfund schätzen, so würden 30 vor jede Halbkugel gespannte Pferde, also im Ganzen deren 60 ausgereicht haben, um dieselben auseinander zu reißen. — Man pflegt diese Halbkugeln die Magdeburger zu nennen, weil Otto von Guerike Bürgermeister zu Magdeburg war.

Weiter führen wir folgenden, sehr einfachen, aber darum nicht minder lehrreichen Versuch an: Wenn man eine schlaffe, nur wenig Luft enthaltende, aber fest zugebundene Blase unter den Recipienten der Luftpumpe bringt, Fig. 48, so schwillt dieselbe an, so wie die Luft im Recipienten verdünnt wird, sie sinkt aber wieder zusammen, wenn man in den Recipienten die äußere Luft wieder eintreten läßt.

(Fig. 48.)

Dieser Versuch zeigt besonders deutlich, daß dem Drucke, welchen hohle Körper von der äußern Luft erleiden, durch die Elasticität der im Innern derselben enthaltenen Luft das Gleichgewicht gehalten wird, daß diese innere Luft die Körper eben so stark auszudehnen strebt, als die äußere Luft sie zusammenpreßt, und daß dieselbe sofort das Uebergewicht erhält, wenn der äußere Luftdruck vermindert wird.

Mechanismus des Athmens.

Der beschriebene Versuch wird aber noch besonders lehrreich durch seine Aehnlichkeit mit dem Mechanismus des Athmungsprozesses. Wir haben oben angegeben, daß bei der Zusammenziehung des Brustkastens die Lungen zusammengepreßt werden und die Luft aus denselben ausströmt, und daß bei nachlassendem Drucke die Lungen sich wieder ausdehnen; allein wir haben noch die Frage zu beantworten, wodurch dieß Letztere bewirkt wird? Denn eine zusammengepreßte, mit einer Oeffnung versehene Blase dehnt sich keineswegs bei nachlassendem Drucke von selbst wieder aus. Anders verhält es sich jedoch mit der Blase unter dem Recipienten der Luftpumpe, welche sich in Folge des verminderten Druckes der dieselbe umgebenden Luft ausdehnt. Ganz Aehnliches ist auch bei den Lungensäcken der Fall, welche in dem luftdicht geschlossenen Brustkasten liegen. Bei der Zusammenziehung des Brustkastens wird zunächst die Luft in diesem verdichtet; in Folge hiervon erleiden

Digitized by Google

auch die von der zusammengepreßten Luft im Brustkasten umgebenen Lungen einen verstärkten Druck und werden daher ebenfalls zusammengepreßt. Bei der Ausdehnung des Brustkastens dagegen wird die Luft in demselben wieder verdünnt, der Druck, welchen die Lungen von der sie umgebenden Luft im Brustkasten erleiden, vermindert sich, und die atmosphärische Luft, mit welcher die Lungen durch die Luftröhre in Verbindung stehen, erhält das Uebergewicht und strömt in dieselben ein.

Specifisches Gewicht der Luft.

Durch die Luftpumpe werden wir auch in den Stand gesetzt, das specifische Gewicht der atmosphärischen Luft zu ermitteln. Zu diesem Zwecke wird ein gläserner Ballon, welcher vermittelst einer messingnen Fassung auf den Teller der Luftpumpe aufgeschraubt und durch einen Hahn verschlossen werden kann, (möglichst) luftleer gemacht und hierauf sorgfältig gewogen. Zieht man dann das Gewicht, welches der Ballon jetzt zeigt, von dem Gewichte ab, welches derselbe besitzt, wenn er mit Luft gefüllt ist, so erhält man (annähernd) das Gewicht der in dem Ballon enthaltenen Luft, und wenn man überdieß den räumlichen Inhalt des Ballons kennt, so wird man hieraus leicht das Gewicht eines Kubikfußes Luft herleiten können. Man findet auf diese Art, daß ein Kubikfuß atmosphärischer Luft ohngefähr 40 Gramm oder $^1/_{12}$ Pfund wiegt, und daß daher die Luft ohngefähr 800mal leichter, als Wasser ist. Uebrigens müssen wir noch bemerken, daß bei der Bestimmung des specifischen Gewichtes der Luft sowohl der Luftdruck, als auch die Temperatur zu berücksichtigen ist. Denn da durch die Wärme die Luft ausgedehnt wird, so ist klar, daß warme Luft weniger wiegt, als kalte, und eben so würde auf einem hohen Berge, auf welchem das Barometer nur noch auf 14 Zoll stände, die Luft nur halb so schwer als im Thale sein. Die obigen Angaben über das Gewicht der Luft gelten für die gewöhnliche Lufttemperatur und einen Barometerstand, welcher von 28 Zoll nicht sehr verschieden ist.

In ähnlicher Art läßt sich auch das specifische Gewicht anderer Luftarten finden, indem man einen Ballon möglichst luftleer macht und dann mit der abzuwägenden Luft füllt.

Da die Luft flüssig und schwer ist, so muß, ebenso wie ein ins Wasser getauchter Körper an Gewicht verliert, auch jeder in der Luft befindliche Körper so viel an Gewicht verlieren, als die durch ihn verdrängte Luftmasse wiegt. Sind wir also im Stande einen Körper aufzutreiben, von welchem ein Kubikfuß weniger als $^1/_{12}$ Pfund (40 Gramm) wiegt, so muß derselbe in der Luft emporsteigen. Als ein solcher Körper bietet sich vorzüglich Wasserstoffgas dar, von dessen Bereitung weiter unten im chemischen Theile gehandelt werden wird. Rein dargestellt ist dasselbe beinahe 14mal leichter, als atmosphärische Luft. Wenn man also einen hinreichend großen Ballon von einem leichten, aber luftdichten Zeuge mit diesem Gase füllt, so muß derselbe in der atmosphärischen Luft in die Höhe steigen. Statt des Wasserstoffgases kann man auch erwärmte Luft anwenden, da diese ebenfalls ein geringeres Gewicht hat.

Luftballon.

Beide Arten von Luftballons sind zuerst im Jahre 1783 in Frankreich ausgeführt worden. Im Juni dieses Jahres ließen die Gebrüder Montgolfier zu Anonay einen mit erwärmter Luft gefüllten Ballon emporsteigen, und im August desselben Jahres ließ Charles den ersten mit Wasserstoffgas gefüllten Ballon zu Paris aufsteigen. Pilatre de Rozier wagte es sogar noch in demselben Jahre sich mit einem von Montgolfier ausge-

Digitized by Google

Die Bewegung des Luftballons zu bestimmen, wurde bald nach der Erfindung desselben erlangt, daß der Luftballon von Ballast und Ausgabe, indem sich dadurch sein Gewicht ändert, auf- und abwärts steigt, wenn sich dadurch sein Gewichtsgrad gegen die Luft, in welcher er sich befindet, ändert, und mit einer Schnelligkeit, welche sich nach der Größe des Unterschiedes dieser beiden Gewichtsgrade richtet. Diese Bewegung ist aber nur eine einfache, denn sie ist nur auf- und abwärts gerichtet. Man suchte daher eine zusammengesetzte Bewegung hervorzubringen, indem man den Luftballon gegen den Wind segeln ließ. Dieß geschah zuerst mit dem Montgolfier'schen Luftballon, welcher am 19. April 1784 zu Lyon mit einem Segel versehen wurde, und sich mit einer Schnelligkeit von 2 Meilen in der Stunde gegen den Wind bewegte.

Mohnöl

Der mehrere Jahre alte Mohn ist zum Genusse und Heilgebrauche schädlich, Mohnöl aber vollkommen gesund. Dieses besitzt auch einen hohen Grad der Reinigung des Blutes, und ist daher ein vortreffliches Mittel gegen Hautausschläge, Flechten und Krätze. Wenn man das Mohnöl zweimal vom Feuer aufkochen läßt, und dann wieder kalt werden läßt, so wird es noch reiner und besser. Wenn man Mohnöl mit Kalkwasser in Verbindung bringt, so bekommt man ein sehr heilsames Mittel gegen die Krätze. Man nimmt drei Theelöffel Mohnöl, und einen Theelöffel Kalkwasser, und schüttelt beides recht gut durcheinander. Dieß wird dann mit einem Schwamme oder Lappen auf die kranken Stellen gestrichen, und nach einer Stunde mit lauem Wasser abgewaschen. Dieß wird 3 Tage hintereinander wiederholt, und dann 3 Tage ausgesetzt. Wenn nach dieser Zeit die Krätze noch nicht vertrieben ist, so muß man diese Behandlung noch einmal wiederholen.

Gegen Hühneraugen ist Mohnöl ebenfalls ein sehr heilsames Mittel. Man darf nur Morgens und Abends, wenn man sich zu Bette legt, einige Tropfen Mohnöl auf das Hühnerauge tröpfeln, und es dann mit einem Pflaster oder Leinwandlappen verbinden, so wird es nach einer Woche oder 14 Tagen verschwinden.

Körper von ſelbſt in Bewegung kommt. Der andere Theil aber, daß ein bewegter Körper, wenn nicht irgend eine Urſache entgegenwirkt, die Bewegung unverändert beibehält, ſcheint im Gegentheil mit der Erfahrung zu ſtreiten, da wir nirgends auf der Erde einen Körper antreffen, welcher unaufhörlich in Bewegung bliebe. Allein dieſer Widerſpruch iſt nur ein ſcheinbarer, da alle auf der Erde bewegten Körper theils durch den Widerſtand, welchen die Luft ihrer Bewegung entgegenſetzt, indem der bewegte Körper fortwährend genöthigt iſt, Lufttheilchen vor ſich her zu treiben und zur Seite zu ſchieben, theils durch die Reibung, da auch die glatteſten Flächen nicht frei von Erhabenheiten und Vertiefungen ſind, welche den freien Lauf der Bewegungen hemmen, eine Verminderung ihrer Geſchwindigkeit erfahren, bis dieſelben endlich ganz zur Ruhe kommen. Daß aber die einmal in Bewegung geſetzten Körper wirklich das Beſtreben haben, ihre Bewegung fortzuſetzen, lehren unzählige Erfahrungen. Die aus dem Geſchütze abgefeuerte Kugel, der von der Sehne des Bogens abgeſchnellte Pfeil, der mit der Hand oder Schleuder geworfene Stein bewegen ſich noch fort, nachdem die Kraft, welche die Bewegung hervorrief, längſt aufgehört hat, zu wirken. — Wenn wir in einem Wagen fahren, und der Lauf deſſelben plötzlich gehemmt wird, ſo ſchwanken wir nach vorn; ja die ſchrecklichen Unglücksfälle, welche ſich auf Eiſenbahnen ereignen, ſind vorzugsweiſe eine Folge des Trägheitsgeſetzes. Wenn ein raſch bewegter Zug gegen ein ſeinen Lauf plötzlich hemmendes Hinderniß oder gegen einen andern auf den nehmlichen Schienen entgegenkommenden Zug ſtößt, erfolgt, auch wenn der Locomotivführer die Maſchine gänzlich außer Thätigkeit geſetzt hat, ja ſelbſt wenn er dieſelbe rückwärts ſchlagen läßt, dennoch, weil die Locomotive und die Waggons zu Folge des Trägheitsgeſetzes das Streben haben, ihre ſchnelle Bewegung fortzuſetzen, der heftigſte Zuſammenſtoß, durch welchen die Wagen zertrümmert und die Reiſenden aufs Schrecklichſte verſtümmelt werden. Auch wenn die Wagen einen minder heftigen Stoß auszuhalten vermögen, ſo werden doch die Perſonen in denſelben, wenn der Zug plötzlich in ſeinem Laufe gehemmt wird, vermöge des Trägheitsgeſetzes mit Heftigkeit nach vorn geſchleudert, und dieſelben erleiden mehr oder weniger ſtarke Verletzungen.

Wenn in dieſen und ähnlichen Fällen das Trägheitsgeſetz mit Nachtheilen für uns verbunden iſt, ſo wollen wir doch nicht außer Acht laſſen, daß in allen Fällen, in denen wir Bewegung beabſichtigen, uns daſſelbe den größten Nutzen bringt. Behalten wir das eben angeführte Beiſpiel von der Eiſenbahn bei. Jedermann weiß, daß der ſtillſtehende Zug, auch wenn die Locomotive ſofort mit voller Kraft arbeitet, ſich nur langſam zu bewegen anfängt, und daß die Geſchwindigkeit deſſelben nur allmählig wächſt und erſt, nachdem der Zug einige Zeit im Gange iſt, den höchſten Grad erreicht. Es vermag nehmlich auch die ſtärkſte Kraft einem ruhenden Körper im erſten Moment nur eine äußerſt geringe Geſchwindigkeit zu ertheilen; indem aber der bewegte Körper die einmal erlangte Geſchwindigkeit vermöge des Trägheitsgeſetzes beibehält, muß dieſe bei fortdauernder Einwirkung der Kraft immer mehr zunehmen. Hat die Locomotive und der angehängte Zug die beabſichtigte Geſchwindigkeit erreicht, ſo würde ohne die Reibung an den Schienen und den Widerſtand der Luft der Zug vermöge des Trägheitsgeſetzes mit unveränderter Geſchwindigkeit von ſelbſt weiter gehen; die Dampfkraft der Locomotive hat daher jetzt weiter nichts zu leiſten, als für die Verluſte, welche die angeführten Hinderniſſe bewirken, Erſatz zu gewähren.

Wenn in Folge dieser Hindernisse alle bewegten Körper auf der Erde, trotz des Strebens, ihre Bewegung beizubehalten, endlich doch zur Ruhe kommen, so bieten uns dagegen die Himmelskörper, die um die Sonne kreisenden Planeten und die um diese sich bewegenden Nebenplaneten, Beispiele von Bewegungen dar, welche seit den fernsten Zeiten, so weit unsere Erfahrungen reichen, mit unverminderter Geschwindigkeit fortdauern, ohne daß eine den Planeten oder Nebenplaneten zur Bewegung antreibende Kraft vorhanden wäre. Denn die anziehende Kraft der Sonne oder des Hauptplaneten wirkt wesentlich nur dahin, den Planeten in seiner Bahn zu erhalten, zwingt denselben sich in einer krummlinigen Bahn um den Centralkörper zu bewegen; hörte diese Kraft plötzlich auf zu wirken, so würde sich der bewegte Körper in gerader Linie, nehmlich in der Richtung der Tangente des Punktes der Bahn, in welcher sich derselbe eben befindet, und mit der Geschwindigkeit, welche er in demselben erlangt hat, in dem unermeßlichen Weltraum fortbewegen.

Jeder bewegte Körper hat nehmlich auch das Bestreben, die Richtung seiner Bewegung unverändert beizubehalten; und das ist der dritte Theil des Trägheitsgesetzes, welchen wir noch näher zu betrachten haben. Kein bewegter Körper durchläuft von selbst eine krummlinige Bahn. Die krummlinige Bahn, welche z. B. schief aufwärts geworfene Körper beschreiben, ist eine Folge davon, daß dieselben fortwährend durch die Schwere abwärts gezogen werden. Wir vermögen dagegen keinen Körper um die Ecke zu werfen.

Die Schwungkraft.

Da jeder bewegte Körper das Streben hat, in grader Linie fortzugehen, so kann derselbe nur durch eine diesem Streben entgegenwirkende Kraft genöthigt werden, eine krummlinige Bahn zu beschreiben. Man pflegt das Streben eines in krummer Linie bewegten Körpers, nach der geraden Linie fortzugehen, die Schwungkraft zu nennen. Die Schwungkraft ist es, welche den Faden anspannt, an welchem wir einen Körper im Kreise umschwingen. Je rascher wir dieses thun, um so größer ist auch die Schwungkraft, um so stärker wird der Faden gespannt. Ueberschreitet die Größe der Schwungkraft die Haltbarkeit des Fadens, so reißt derselbe und der bewegte Körper fliegt nun in der Richtung der Tangente, des Punktes der Bahn, welchen er eben erreicht hat, fort.

Die Schwungkraft ist überhaupt um so größer, je rascher der Umlauf erfolgt, und je größer bei gleicher Umlaufszeit der Radius der Bahn ist. In Fabriken sind nicht selten dadurch Unglücksfälle veranlaßt worden, daß bei zu raschem Umlauf große eiserne Räder durch die zu starke Schwungkraft in Stücke zerrissen und die Stücke mit Heftigkeit umhergeschleudert wurden.

Man pflegt dergleichen Räder Schwungräder zu nennen; ihre Anwendung in Maschinen beruht jedoch nicht auf der eben behandelten Schwungkraft, sondern auf dem andern Theile des Trägheitsgesetzes, daß jeder bewegte Körper die erlangte Geschwindigkeit beizubehalten strebt. Sie dienen dazu, die Bewegung, obschon die Dampf- oder Wasserkraft, welche das Räderwerk in Bewegung setzt, nicht immer mit gleicher Stärke wirkt oder auch bald stärkere, bald schwächere Hindernisse zu überwinden hat, dennoch in möglichst gleichförmigem Gange zu erhalten.

Als weitere Erscheinungen, welche auf der Schwungkraft selbst beruhen, führen wir noch Folgende an: Die Gefahr des Umfallens bei einem Wagen, welcher rasch um eine Ecke biegt; bei Curven auf Eisenbahnen erhalten daher die Schienen an der Außenseite eine etwas erhöhte Lage; zu starke Krümmungen aber müssen bei denselben gänzlich vermieden werden. — Wenn wir

Digitized by Google

uns rasch im Kreise bewegen, so neigen wir, um der Schwungkraft entgegen zu wirken, den Oberleib etwas nach Innen; — auch die Einrichtung und der Gebrauch des Rouletteſpieles beruhen auf der Schwungkraft, u. dgl. m.

Wir haben oben als Beweis für die Richtigkeit des Trägheitsgeſetzes die Planeten angeführt, welche Jahr aus Jahr ein mit unverminderter Geſchwindigkeit ſich um die Sonne bewegen. Daß dieſelben nicht auch die Richtung ihrer Bewegung unverändert beibehalten, nicht in gerader Linie fortgehen, ſondern eine krummlinige Bahn um die Sonne beſchreiben, iſt eine Folge der Anziehung, welche die Sonne auf die Planeten ausübt. Dieſe Anziehung durch die Sonne muß nun offenbar für jeden einzelnen Planeten mit der Schwungkraft, welche aus der krummlinigen Bewegung deſſelben entſpringt, eine gleiche Größe haben, da entgegengeſetzten Falles der Planet ſich entweder der Sonne nähern oder von derſelben entfernen müßte. Durch die Berechnung der Größe der Schwungkraft wird daher auch die Größe der anziehenden Kraft der Sonne erhalten.

Gravitationsgeſetz von Newton.

Nachdem der Scharfſinn des unſterblichen Keppler im Anfange des 17. Jahrhunderts mit Benutzung der vorliegenden aſtronomiſchen Beobachtungen, beſonders der für die damalige Zeit mit der äußerſten Genauigkeit ausgeführten Beobachtungen Tycho de Brahe's, die Geſetze der Planetenbewegung ermittelt hatte, wurde auf Grund dieſer Geſetze durch den großen Newton gegen Ende des 17. Jahrhunderts das allgemeine Gravitationsgeſetz entdeckt, daß nehmlich die Kraft, mit welcher die Sonne die Planeten anzieht, ſich umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung des Planeten von der Sonne verhält, d. h. daß die Kraft der Anziehung in der doppelten, dreifachen, vierfachen Entfernung u. ſ. w. auf den vierten, neunten, ſechszehnten Theil herabgeht. Newton fand dieſes Geſetz, indem er für die Bahnen der damals bekannten Planeten nach Keppler's Geſetzen die Schwungkräfte berechnete, welche, wie ſchon bemerkt, mit den Anziehungen der Planeten durch die Sonne gleiche Größe haben.

Newton zeigte ferner, daß auch die anziehende Kraft der Erde das nehmliche Geſetz befolgt, daß nehmlich die Kraft, mit welcher die Erde den Mond anzieht, ſich zu der Kraft, mit welcher dieſelbe anziehend auf die an ihrer Oberfläche befindlichen Körper wirkt, ſich umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung des Mondes zum Quadrate der Entfernung der Oberfläche der Erde vom Mittelpunkte derſelben verhält. Die nehmliche Urſache alſo treibt den fallenden Stein zur Erde und nöthigt den Mond, in einer krummlinigen Bahn die Erde zu umkreiſen.

Eintheilung der Bewegung.

Wir wenden uns nun nach dieſen wichtigen Folgerungen aus dem Trägheitsgeſetze zu den verſchiedenen Arten der Bewegung. Schon oben bei Erörterung der allgemeinen Eigenſchaften der Körper haben wir geſehen, daß eine Bewegung entweder gleichförmig oder ungleichförmig ſein kann. Eine gleichförmige Bewegung kann nur dann entſtehen, wenn auf einen Körper eine Kraft nur einen Moment, eine ſehr kurze Zeit gewirkt hat, und der Körper dann ſich ſelbſt überlaſſen bleibt. Nur in dieſem Falle wird der Körper, dem Trägheitsgeſetze folgend, ſich mit unveränderter Geſchwindigkeit fortbewegen. Wenn dagegen die Einwirkung der Kraft auf den bewegten Körper fortdauert, ſo wird die hervorgehende Bewegung entweder beſchleunigt oder verzögert ſein, je nachdem die Kraft in der Richtung der Bewegung oder nach der entgegengeſetzten Richtung wirkt.

Vom Stoße.

Ein Beispiel der ersteren Art bietet der Stoß dar. Obschon die Erscheinungen des Stoßes ziemlich mannigfaltig sind, so sind dieselben doch im Ganzen von untergeordnetem Interesse, und wir beschränken uns daher auf die Anführung einiger Hauptfälle.

Ein wesentlich verschiedenes Verhalten zeigen in Hinsicht des Stoßes elastische und unelastische Körper. Wir wollen um größerer Einfachheit willen annehmen, daß die zu betrachtenden Körper entweder ganz unelastisch oder vollkommen elastisch sind, d. h., daß sie mit der nehmlichen Kraft, mit welcher sie im Stoße zusammengedrückt worden sind, ihre Gestalt wieder herzustellen streben. Ebenso wollen wir noch um größerer Einfachheit willen uns auf die Betrachtung kugelförmiger Körper beschränken. Unter diesen Voraussetzungen führen wir die folgenden Gesetze an:

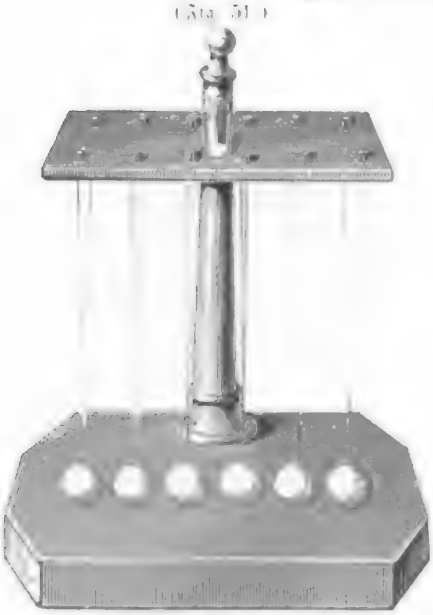
Wenn eine ganz unelastische Kugel in einem graden Stoße gegen eine feste Wand stößt, so ruht sie nach dem Stoße; stößt sie aber gegen eine andere ruhende Kugel von gleicher Masse, so gehen beide nach dem Stoße, indem sich nun die zu bewegende Masse verdoppelt hat, mit der halben Geschwindigkeit der stoßenden Kugel fort.

Stößt eine elastische Kugel gegen eine feste Wand in einem graden oder schiefen Stoße, so springt sie mit der nehmlichen Geschwindigkeit, mit welcher sie ankam, im ersten Fall auf dem nehmlichen Wege, im andern Falle unter dem gleichen Winkel, aber nach der andern Seite hin zurück, wie uns die an die Bande eines Billards anprallenden Kugeln deutlich zeigen. — Die in der senkrechten Richtung AB, Fig. 50, ankommende Kugel geht auf dem nehmlichen Wege wieder zurück; die in der schiefen Richtung AC anlangende Kugel springt in der Richtung AD zurück, so daß Winkel BAC = BAD ist.

(Fig. 50.)

Stößt eine elastische Kugel gegen eine andere ruhende in einem geraden Stoße, so ruht die bewegte Kugel nach dem Stoße und die ruhende geht mit der Geschwindigkeit der stoßenden fort. Versuche auf dem Billard stellen diese Erscheinung weniger deutlich dar, weil wegen der Reibung am Tuche die stoßende Kugel eine rotirende Bewegung erhält, welche auch nach dem Stoße noch anhält und ein Fortrollen der Kugel veranlaßt. Man zeigt diese Erscheinung am Besten an einer sogenannten Stoßmaschine, Fig. 51, in welcher mehrere Kugeln an Fäden so aufgehängt sind, daß ihre Mittelpunkte in gerade Linie fallen. Hebt man an einer Seite eine Kugel auf und läßt dieselbe niederfallen, so fliegt die letzte Kugel am andern Ende fort und die übrigen bleiben in Ruhe; werden an der einen Seite zwei, drei Kugeln aufgehoben, so werden an der andern Seite zwei,

(Fig. 51.)

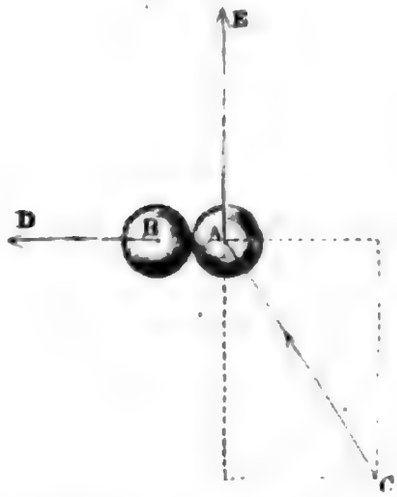


Digitized by Google

drei Kugeln fortgetrieben. Auch die mit ihren Puffern zusammenstoßenden Waggons eines längeren Zuges auf der Eisenbahn zeigen eine ähnliche Erscheinung.

Treffen zwei elastische Kugeln von gleicher Masse in einem schiefen Stoße zusammen, so geht die gestoßene Kugel in der Richtung einer Linie, welche durch die Mittelpunkte beider Kugeln und die Berührungsstelle im Stoße geht, die stoßende Kugel aber in einer hierauf senkrechten Richtung fort. — Ist A, Fig. 52, die stoßende, B die vor dem Stoße ruhende Kugel und AC der Weg, auf welchem die erstere vor dem Stoße anlangt, so geht B nach dem Stoße in der Richtung BD, A in der Richtung AE fort.

(Fig. 52.)



Die Kraft des Stoßes wirkt nur eine kurze Zeit, so daß wir dieselbe als momentan ansehen können; die durch dieselbe erzeugte Bewegung ist daher eine gleichförmige. Eine continuirlich wirkende Kraft muß dagegen entweder eine beschleunigte oder eine verzögerte Bewegung hervorbringen. Das bekannteste Beispiel einer solchen Kraft ist die Schwere. Die Bewegung eines fallenden Körpers ist eine beschleunigte, weil die Schwere fortdauernd im Sinne dieser Bewegung wirkt; die Bewegung eines senkrecht in die Höhe geworfenen Körpers ist eine verzögerte, weil die Schwere dieser Bewegung grade entgegenwirkt.

Fall der Körper.

Die Gesetze der wirklich fallenden Körper im lufterfüllten Raume sind wegen des Widerstandes der Luft äußerst verwickelt, so daß es fast gar nicht möglich ist, dieselben in voller Allgemeinheit und mit Berücksichtigung aller Umstände aufzustellen. Sehr einfache Gesetze würden sich dagegen ergeben, wenn die Körper im gänzlich luftleeren Raume fielen, und wenn man den Umstand unberücksichtigt läßt, daß die Körper während des Fallens dem Mittelpunkt der Erde ein wenig näher kommen und daher ihre Schwere etwas zunimmt. Unter dieser Voraussetzung würden sich für Körper, welche in einem luftleeren Raume fielen, folgende Gesetze ergeben:

Da die Schwere unausgesetzt und mit gleicher Stärke auf den fallenden Körper wirkt, so muß auch seine Geschwindigkeit während des Fallens in gleichen Zeiten immer gleiche Zuwachse erhalten, und daher die Geschwindigkeit des fallenden Körpers in gleichem Verhältnisse mit der Zeit zunehmen.

Die durchlaufenen Räume würden dagegen wie das Quadrat der Zeit wachsen. Ein Körper würde im luftleeren Raume in der ersten Secunde ohngefähr 15 Fuß, in 2 Secunden $4 \times 15 = 60$ Fuß, in 3 Secunden $9 \times 15 = 135$ Fuß, in 4 Secunden $16 \times 15 = 240$ Fuß u. s. w. fallen.

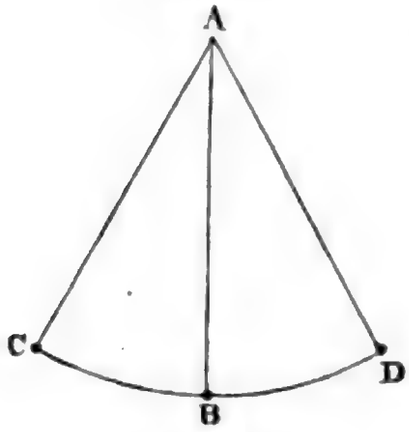
Diese Gesetze, welche aber, wie schon bemerkt, nur von dem Falle im gänzlich luftleeren Raume gelten, sind zuerst durch Galilei im Anfange des 17ten Jahrhunderts aufgefunden und durch den Fall auf der schiefen Ebene nachgewiesen worden.

Bei dieser verhält sich die beschleunigende Kraft, wie sich unsere Leser vielleicht noch aus dem Abschnitte über die Maschinen erinnern werden, wie die Höhe zur Länge. Wenn daher eine schiefe Ebene mit dem Horizonte einen so spitzen Winkel bildet, daß bei einer Länge von 15 Fuß die Höhe

nur einen Fuß beträgt, so wird ein auf dieser Ebene fallender Körper — abgesehen von allen Hindernissen der Bewegung — in der ersten Secunde 1 Fuß, in zwei Secunden 4 Fuß, in drei Secunden 9 Fuß u. s. w. zurücklegen. Der Körper wird sich daher nur mit einer mäßigen Geschwindigkeit fortbewegen. So lange aber die Geschwindigkeit klein ist, ist auch der Widerstand der Luft gering, und die Geschwindigkeit wird dann durch diesen nur um einen kleinen Theil ihrer eigenen Größe vermindert. Zu dem Widerstande der Luft gesellte sich zwar bei Galilei's Versuchen noch die Reibung. Damit diese jedoch auf die Versuche keinen erheblichen Einfluß ausübte, ließ Galilei messingne Kugeln in Rinnen, welche er mit glattem Pergament ausgelegt hatte, herabrollen, wodurch es ihm möglich wurde, die oben angeführten, von ihm aufgefundenen Gesetze durch die Erfahrung zu bestätigen.

Pendel. Mit der Bewegung auf der schiefen Ebene hat die Bewegung des Pendels Aehnlichkeit, welches eine der wichtigsten Vorrichtungen des Physikers bildet. Ein Pendel ist jeder schwere Körper, welcher sich um einen Punkt, der nicht der Schwerpunkt ist, frei drehen läßt. Um jedoch die Theorie des Pendels bequemer vortragen zu können, gehen wir von einem hypothetischen, dem sogenannten mathematischen Pendel aus. Man versteht hierunter eine Linie, in welcher nur ein Punkt schwer ist, und die an einem Endpunkte so befestigt ist, daß sie sich frei um denselben drehen kann. Man stellt ein solches Pendel annähernd dar, indem man ein Kügelchen aus Blei an einen dünnen Faden aufhängt.

(Fig. 53.)



Wird ein mathematisches Pendel aus der senkrechten Lage AB, Fig. 53, in eine schiefe Lage AC gebracht, so kehrt es von selbst in die erstere zurück. Der schwere Punkt durchläuft den Kreisbogen BC, und diese Bewegung hat, wie schon gesagt, Aehnlichkeit mit der Bewegung auf der schiefen Ebene. Ein wesentlicher Unterschied besteht jedoch darin, daß bei dieser die Neigung beständig dieselbe bleibt, bei der Bewegung des schweren Punktes des Pendels auf dem Kreisbogen BC dagegen von C nach B hin die Neigung beständig abnimmt. Während daher die Bewegung eines fallenden Körpers auf einer schiefen Ebene eine gleichförmig beschleunigte ist, d. h. die Geschwindigkeit in gleichen Zeiten um immer gleiche Größen wächst, haben diese Zuwachse an Geschwindigkeit, welche der schwere Punkt des Pendels, indem er den Bogen BC durchläuft, in gleichen Zeiten erfährt, nicht eine gleiche Größe, sondern nehmen von C nach B hin ab. Weil aber die Geschwindigkeit des schweren Punktes doch immer noch Zuwachs von C bis B erhält, so muß bei der Ankunft des schweren Punktes in B seine Geschwindigkeit offenbar am größten sein. Derselbe fährt daher zu Folge des Trägheitsgesetzes fort sich zu bewegen und steigt jetzt auf dem Bogen BD empor. Da nun die Schwere dieser Bewegung ganz eben so entgegenwirkt, als sie vorhin bei der Bewegung auf den Bogen BC beschleunigend wirkte, so muß auch der schwere Punkt jetzt durch einen eben so großen Bogen BD emporsteigen, als er vorher gefallen ist, und also Bogen BD gleich BC sein. In dem höchsten Punkte D angekommen, wird der schwere Punkt jetzt durch die Schwere wieder abwärts getrieben, und er durchläuft

nun den Bogen BD eben so in der entgegengesetzten Richtung. Auf diese Art würde ein mathematisches Pendel, da bei demselben keine Hindernisse der Bewegung stattfinden, unaufhörlich hin und her schwingen. Bei einem physischen Pendel dagegen werden die Schwingungsbogen wegen des Widerstandes der Luft und wegen der Reibung am Drehungspunkte immer kleiner, bis dasselbe endlich ganz zur Ruhe kommt.

Von dem mathematischen Pendel gelten die folgenden Gesetze, welche, so wie die Gesetze des Falles, von Galilei im Anfange des 17ten Jahrhunderts aufgefunden worden sind:

1) Bei dem nehmlichen Pendel ist für kleine Schwingungsbogen (welche 10 Grad nicht übersteigen) die Dauer der Schwingungen von der Größe derselben (fast) unabhängig.

Wenn wir ein an einem Faden aufgehängtes Bleikügelchen in Schwingungen versetzen und die Schwingungen zählen, so finden wir, daß dasselbe in jeder folgenden Minute eben so viele Schwingungen macht, wie in der ersten, obschon die Schwingungsbogen immer kleiner werden.

2) Bei zwei Pendeln von ungleicher Länge verhalten sich die Schwingungszeiten wie die Quadratwurzeln aus den Pendellängen.

Wenn wir den Faden, an welchem wir das Bleikügelchen aufgehängt haben, auf den vierten oder neunten Theil verkürzen, so macht das Pendel in der nehmlichen Zeit, in dem einen Falle doppelt, in dem andern Falle dreimal so viel Schwingungen, als wenn es in seiner ganzen Länge schwingt.

Giebt man dem Faden die Länge von $36^3/_4$ Zoll, so wird das Pendel zu einer Schwingung fast genau eine Secunde Zeit gebrauchen, also in der Stunde 3600 Schwingungen vollenden.

Wir haben nun noch weiter zu zeigen, wie die angeführten Gesetze auf ein physisches Pendel zu übertragen sind. In einem physischen Pendel befindet sich nicht nur ein schwerer Punkt, sondern alle, auch die kleinsten Theilchen desselben sind schwer. Wir werden uns daher das physische Pendel, als aus unzähligen mathematischen Pendeln bestehend, denken können, welche jedoch, je nachdem die schweren Punkte dem Aufhängepunkte näher oder ferner liegen, eine ungleiche Länge haben. Dieselben würden daher, wenn sie nicht fest mit einander verbunden wären, mit sehr ungleichen Geschwindigkeiten schwingen. Ist z. B. A, Fig. 54, ein dem Aufhängepunkte C sehr naher, B ein sehr ferner schwerer Punkt des physischen Pendels, so wird A raschere, B langsamere Schwingungen zu machen streben. Weil sie aber unter sich fest verbunden und daher genöthigt sind, gleichzeitig zu schwingen, so wird der Punkt B auf die schwingende Bewegung von A verzögernd, der Punkt A aber auf die Bewegung von B beschleunigend wirken. Aehnliches wird von den übrigen schweren Punkten des physischen Pendels gelten. Zwischen A und B muß es aber auch offenbar einen Punkt S geben, welcher in seiner Bewegung durch die Verbindung mit den übrigen Punkten weder verzögert noch beschleunigt wird. Dieser Punkt, dessen schwingende Bewegung also durch die Verbindung mit den übrigen schweren Punkten des Pendels gar nicht alterirt wird, und der daher eben so schwingt, als wenn er für sich allein ein mathematisches Pendel bildete, wird der Schwingungs-

(Fig. 54.)

punkt, und sein Abstand vom Aufhängepunkte C die Länge des physischen Pendels genannt.

Der Schwingungspunkt fällt nicht mit dem Schwerpunkte zusammen; er liegt z. B. bei einem gleichförmigen, an dem obern Ende aufgehängten Stabe nicht in der Mitte, sondern ein Drittel vom untern Ende. Man kann den Schwingungspunkt und die Länge eines jeden physischen Pendels annähernd finden, wenn man dasselbe in Schwingungen versetzt, neben demselben ein an einem Faden aufgehängtes Bleikügelchen schwingen läßt und den Faden so lange verlängert oder verkürzt, bis beide Pendel gleichzeitig schwingen. Die Länge des Fadens giebt sehr nahe die gesuchte Länge des physischen Pendels an. Braucht das Pendel zu einer Schwingung grade eine Secunde Zeit, so findet man seine Länge wie schon oben bemerkt, (ohngefähr) gleich $36^3/_4$ Zoll.

Dergleichen Abmessungen gewähren indeß nur einen geringen Grad von Genauigkeit; für den Physiker ist aber die genaue Kenntniß der Länge des Secundenpendels, d. h. eines Pendels, welches in der Stunde 3600 Schwingungen macht, aus Gründen, welche wir sogleich näher kennen lernen werden, von der äußersten Wichtigkeit. Zu dieser Kenntniß führt der merkwürdige Satz, daß an einem jeden Pendel sich der Aufhängepunkt und der Schwingungspunkt vertauschen lassen. Ist also C, Fig. 54, der Aufhängepunkt, S der Schwingungspunkt irgend eines physischen Pendels, und hat man die Schwingungen gezählt, welche das um den Punkt C schwingende Pendel in der Stunde vollendet, so findet man, daß dasselbe, wenn man es um den Punkt S schwingen läßt, in der Stunde genau eben so viel Schwingungen macht.

Auf dieses Prinzip gründet sich das zuerst von dem Engländer Kater (ums Jahr 1815) zur genauen Ermittelung der Länge des Secundenpendels angewendete Reversionspendel, Fig. 55. Dasselbe besteht im Wesentlichen aus einem mehrere Fuß langen Messingstabe aa', an welchem in dem ohngefähren Abstande von 37 Zoll zwei dreieckige Löcher b und b' angebracht sind, durch die zwei stählerne Schneiden hindurchgehen, um welche man das Pendel abwechselnd schwingen läßt. Um die Reibung möglich zu vermindern, dienen den Schneiden, beim Schwingen des Pendels um dieselben, Achatplatten zur Unterlage. Ganz nahe unter dem Rücken der einen Schneide b' ist ein einige Pfund schweres messingnes Gewicht befestigt, und außerdem sind an dem messingnen Stabe zwischen den beiden Schneiden noch zwei kleinere verschiebbare Gewichte c und c' angebracht. Man läßt nun dieses Pendel abwechselnd um die eine und die andere Schneide b und b' schwingen und verschiebt die Laufgewichte c und c' so lange, bis das Pendel um beide Schneiden in der Stunde eine genau gleiche Zahl von Schwingungen vollendet. Aus der Zahl der Schwingungen aber, welche dasselbe in der Stunde macht, erhält man die Dauer einer Schwingung mit großer Genauigkeit. Macht das Pendel z. B. in einer Stunde 2345 Schwingungen, so ist die Zeit einer Schwingung, da auf die Stunde 3600 Secunden kommen, gleich 1 und $^{1255}/_{2345}$ Secunden, oder im Decimalbruche 1,535 Secunden. Man vermag also ganz leicht die Dauer einer Schwingung bis auf eine Tausendstel Secunde genau zu bestimmen. Hat man aber so die Dauer einer Schwingung und die Länge dieses Pendels, d. h. den Abstand der beiden Schneiden b und b' von einander

(Fig. 55.)

Digitized by Google

mit Genauigkeit gemessen, so wird man durch die zweite der über die Pendelschwingungen oben angegebenen Regeln auch in den Stand gesetzt, die Länge des Secundenpendels, d. h. eines Pendels, welches eine Schwingung genau in der Zeit einer Secunde vollendet, zu berechnen.

Ehe wir die wichtigen Folgerungen, zu denen die Abmessungen der Länge des Secundenpendels für verschiedene Gegenden der Erde geführt haben, näher erörtern, erwähnen wir noch kurz den allgemein bekannten Gebrauch, welchen man von dem Pendel zur genauen Abmessung der Zeit macht. Der holländische Physiker Huyghens hat zuerst in der Mitte des 17. Jahrhunderts diese Anwendung des Pendels gelehrt und im Jahre 1658 die erste Pendeluhr construirt. Da nehmlich die Schwere an dem nehmlichen Orte der Erde beständig dieselbe bleibt, so muß auch das Pendel fortwährend gleichzeitig schwingen. Nun sind zwar die Schwingungen eines physischen Pendels von dem Widerstande der Luft und der Reibung am Aufhängepunkte nicht ganz unabhängig. Da jedoch die Bewegung eines Pendels verhältnißmäßig nur eine langsame, auch die größte Geschwindigkeit, welche es im tiefsten Punkte hat, nur eine geringe ist, so übt auch der Widerstand der Luft nur einen unbedeutenden Einfluß auf die Bewegung desselben aus. Hierzu kommt noch der günstige Umstand, daß die Zeit der abwärts gehenden Bewegung des Pendels durch den Widerstand der Luft etwas verlängert, die Zeit des Aufsteigens etwas verkürzt wird, was sich einigermaßen ausgleicht. Auch der Einfluß der Reibung läßt sich bei sorgfältiger Construction auf ein sehr Geringes vermindern. Freilich werden an einem sich selbst überlassenen Pendel durch die Reibung und den Widerstand der Luft die Schwingungsbogen allmählig mehr und mehr verkleinert, wenn auch die Zeitdauer derselben (fast) dieselbe bleibt, und das sich selbst überlassene Pendel muß daher endlich zur Ruhe kommen. Die an einer Pendeluhr angebrachten Gewichte dienen dazu, dem Pendel für diese Verluste Ersatz zu gewähren und dasselbe beständig im Gange zu erhalten.

Verschiedene Größe der Schwere.

Als der französische Astronom Richer im Jahre 1672 nach Cayenne in die Nähe des Aequators kam, fand er, daß die aus Paris mitgebrachte Pendeluhr, welche in Paris vollkommen richtig ging, in Cayenne täglich $2^1/_2$ Minute zurückblieb; erst nachdem er das Pendel um $1^1/_4$ Linie verkürzt hatte, ging die Uhr wieder richtig.

Ueberall auf der Erde nimmt nehmlich die Schwere nach dem Aequator hin ab, nach den Polen hin zu. Der Grund dieser Erscheinung, deren Kenntniß wir den Beobachtungen des Pendels und der Abmessung der Länge desselben verdanken, beruht theils auf der abgeplatteten Gestalt der Erde, in Folge deren die dem Aequator näheren Theile der Erdoberfläche von dem Mittelpunkte der Erde weiter entfernt sind, als die Gegend in der Nähe des Poles, theils auf der mit der Axendrehung der Erde verbundenen Schwungkraft, welche der Schwere am Aequator am stärksten entgegenwirkt und dieselbe vermindert. In Folge dieser beiden Ursachen ist die Schwere am Aequator ohngefähr um $^1/_{300}$ kleiner, als in unserer Breite, und um $^1/_{200}$ kleiner als am Pole.

Eine Last von 100 Pfund übt also am Aequator auf eine Unterlage nur einen ebenso großen Druck aus, als in unseren Gegenden eine Last von $99^2/_3$ Pfund. In demselben Verhältnisse müssen auch die Körper am Aequator im luftleeren Raum langsamer fallen, als in unsern Breiten oder am Pole. Es würde jedoch sehr schwierig sein, diesen geringen Unterschied durch directe Messungen zu bestimmen. Wir verdanken vielmehr lediglich den Pendelbeob-

igitized by Google

achtungen die Kenntniß der Abnahme der Schwere von den Polen nach dem Aequator hin.

Dieselben haben auch gezeigt, daß die Schwere auf hohen Bergen etwas geringer, als im Thale ist.

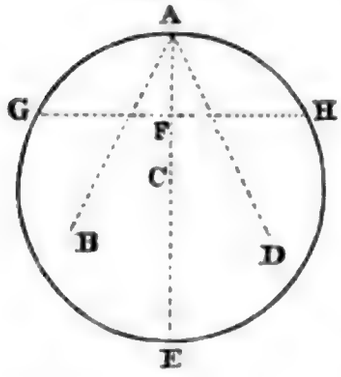
Richtung der Schwere.

Die Richtung der Schwere geht zwar im Allgemeinen nach dem Mittelpunkte der Erde hin; doch gilt dieses, da die Erde keine vollkommene Kugel ist, nicht ganz genau. Außerdem wird auch durch die aus der Axendrehung der Erde hervorgehende Schwungkraft eine kleine Ablenkung von der Richtung nach dem Mittelpunkte der Erde hervorgebracht, indem die Richtung der Schwungkraft zur Drehungsaxe senkrecht ist und daher nur am Aequator durch den Mittelpunkt der Erde geht, für alle andern Gegenden der Erde aber hiervon abweicht.

Grund der Schwere.

Abgesehen von diesen nicht sehr beträchtlichen Abweichungen können wir annehmen, daß die Richtung der Schwere durch den Mittelpunkt geht. Wir haben uns jedoch die Schwere der Körper nicht als die Wirkung einer besondern, dem Mittelpunkte der Erde inwohnenden Kraft, sondern als die Folge der Anziehung vorzustellen, welche alle materiellen Theile der Erde auf die an der Oberfläche derselben befindlichen Körper ausüben. Daß die Schwere im Allgemeinen nach dem Mittelpunkt hin gerichtet ist, folgt einfach daraus, daß bei einer Kugel die Masse um den Mittelpunkt gleichförmig vertheilt ist. Ist z. B. B, Fig. 56, ein materieller Punkt im Innern der Erde, welcher auf einen an der Oberfläche in A befindlichen Körper in der Richtung AB eine Anziehung ausübt, so entspricht demselben an der andern Seite des Durchmessers AE ein materieller Punkt D, welcher genau dieselbe Lage wie der Punkt B gegen AE hat. Aus den Anziehungen, welche beide materielle Punkte B und D auf A ausüben, ergiebt sich daher eine in die Linie AE fallende, also durch den Mittelpunkt C gehende, resultirende Kraft. Da nun ganz Aehnliches für alle andern materiellen Punkte im Innern der Kugel gilt, so muß die Resultirende sämmtlicher Anziehungen, welche dieselbe auf den Punkt A ausüben, offenbar durch den Mittelpunkt C gehen.

(Fig. 56.)



Obschon die Schwere abnimmt, wenn wir uns über die Oberfläche der Erde erheben, also vom Mittelpunkte entfernen, z. B. auf hohen Bergen, geringer ist als im Thale, so würden wir dagegen, wenn wir zur größeren Tiefe ins Innere der Erde einzudringen vermöchten, keineswegs finden, daß die Schwere mit der Annäherung an den Mittelpunkt zunimmt. Im Gegentheil würden wir finden, daß die Schwere sich vermindert, wenn wir uns dem Mittelpunkte nähern und daß sie in diesem selbst gänzlich verschwindet. Denn wenn wir z. B. bis zur Tiefe F in das Innere eingedrungen wären, so würde nur noch die unter der zum Radius AC senkrechten Ebene GH liegende Masse der Erde abwärts, die oberhalb GH befindliche Masse dagegen aufwärts ziehend wirken, also durch die letztere Anziehung die erstere vermindert werden, und zwar offenbar um so mehr, je mehr wir ins Innere eindringen und uns dem Mittelpunkt nähern. Im Mittelpunkte selbst aber würde gar keine bestimmte Richtung der Anziehung vorwalten, weil die Masse der Kugel in diesem gleichförmig vertheilt ist, und es würde daher hier die Schwere gänzlich aufhören.

Digitized by Google

Anziehung in den kleinsten Formen.

Wir haben uns im Vorhergehenden mit den verschiedenen Erscheinungen beschäftigt, welche feste, flüssige und luftförmige Körper in Beziehung auf Gleichgewicht und Bewegung darbieten. Die Ursache dieser Verschiedenheit beruht, wie wir gesehen haben, auf der verschiedenen Art des Zusammenhanges der Theile dieser Körper. Während die Theile der festen Körper sich nur schwer trennen und verschieben lassen, kann dieses bei den flüssigen und luftförmigen Körpern mit der größten Leichtigkeit geschehen, wozu bei den letztern Körpern noch das Bestreben aller Theile, sich von einander zu entfernen, kommt, so daß dieselben, wenn nicht ein äußerer Druck diesem Bestreben entgegenwirkt, sich in einen größern Raum ausdehnen. Alle drei Arten von Körpern, feste, flüssige und luftförmige, stimmen dagegen darin überein, daß sie schwer sind. Als Ursache der Schwere haben wir die Anziehung, welche die gesammte Masse der Erde auf die Körper ausübt, angegeben, indem wir nehmlich annehmen, daß alle materiellen Theile der Erde anziehend auf die an der Oberfläche derselben befindlichen Körper wirken. Wir wollen jetzt noch zeigen, wie sich diese Ansicht, welche wir bisher nur auf theoretische Gründe gestützt haben, auch durch directe Versuche bestätigen läßt.

Nun leuchtet wohl sogleich die große Schwierigkeit ein, mit der die Versuche verbunden sein werden, welche zeigen sollen, daß ein Körper nicht blos von der gesammten Masse der Erde, sondern von irgend einem Theile, von einem andern der Erde angehörigen Körper eine Anziehung erleidet. Denn wenn wir auch als den letztern die größte Masse annehmen, über welche wir irgend verfügen können, so erscheint dieselbe doch als fast verschwindend klein gegen die ungeheure Masse der Erde, und dasselbe wird daher voraussichtlich auch von der Anziehung, welche diese Masse auf einen andern Körper ausübt, gelten. Jedenfalls wird man einen Körper von einer möglichst großen Masse wählen müssen, um die anziehende Kraft desselben nachzuweisen. Als eine solche Masse dürfte sich daher am passendsten eine über die Erdoberfläche hervorragende Bergmasse darbieten.

Masse und Dichtigkeit der Erde.

In der That haben englische Physiker, Maskelyne und Hutton, indem sie ein Pendel zu beiden Seiten des Berges Shehallien an der Grenze von Schottland aufhingen und die Richtung desselben mit der nach einem bestimmten Fixstern gehenden Linie verglichen, gefunden, daß dieses Pendel beidemal etwas nach der Seite des Berges hin abgelenkt wurde, und also eine Anziehung von demselben erfuhr. Eine ohngefähre Abschätzung der Masse des Berges, die Entfernung des Mittelpunktes desselben von dem Pendel, verglichen mit der Entfernung des Mittelpunktes der Erde, und die Größe der Ablenkung des Pendels von der lothrechten Linie, ließen dann noch weiter einen Schluß auf die Größe der Masse der Erde selbst machen. Aus den von den gedachten Physikern mit großer Sorgfalt angestellten Versuchen hat sich die Masse der Erde zu etwa 10 Quadrillionen Pfund und ihre mittlere Dichtigkeit 4,7 mal so groß, als die des Wassers ergeben.

Da diese Resultate sich wesentlich auf die Bestimmung der Masse des Berges stützen, letztere aber sich nur annähernd richtig abschätzen läßt, so können dieselben auch keine volle Sicherheit gewähren, und es kann daher nicht befremden, wenn spätere Versuche, bei denen die Anziehung großer Metallmassen mit der anziehenden Kraft der Erde verglichen wurde, von Cavendish 1797, von Reich 1837 und von Baily 1842 angestellt,

Digitized by Google

ein abweichendes Ergebniß, nehmlich die mittlere Dichtigkeit der Erde 5,3 bis 5,7 mal so groß als die des Wassers geliefert haben.

Darin stimmen jedoch sämmtliche Beobachtungen und Rechnungen überein, daß sie für die mittlere Dichtigkeit der Erde ein weit größeres Resultat ergeben, als den die Erdrinde hauptsächlich zusammensetzenden Felsarten zukömmt, welche im Mittel nur etwa ein dreimal größeres specifisches Gewicht, als Wasser haben, was dann zu dem in geologischer Hinsicht höchst wichtigen Schlusse nöthigt, daß die Erde im Innern eine beträchtlich größere Dichtigkeit als an der Oberfläche besitzt.

Anziehung. Die angegebenen Versuche führen uns zu der Annahme, daß Anziehung überhaupt eine allgemeine Eigenschaft der Materie ist, daß alle materiellen Körper sich gegenseitig anziehen, und daß die Schwere und die anziehenden Kräfte, mit denen die Himmelskörper auf einander wirken, als eine Folge dieser sämmtlicher Materie zukommenden Eigenschaft anzusehen sind; demgemäß werden wir weiter auch als höchst wahrscheinlich annehmen dürfen, daß die Kraft, mit welcher zwei Körper, nicht blos die Himmelskörper, sondern auch irgend zwei der Erde angehörige Körper sich anziehen, dem allgemeinen Gravitationsgesetze unterworfen ist, also im umgekehrten quadratischen Verhältnisse der Entfernung der Mittelpunkte beider sich anziehenden Massen steht. So wie daher diese Kraft mit der Entfernung sehr rasch abnimmt, so muß dieselbe auch eben so rasch bei verminderter Entfernung wachsen. Dennoch ist diese Anziehung auch bei den größten Massen, über welche wir verfügen können, und wenn wir diese bis auf den möglichst kleinsten Abstand einander nähern, so gering, daß sich dieselbe kaum durch die empfindlichsten Apparate, welche dem Physiker zu Gebote stehen, nachweisen läßt. Denn da die Mittelpunkte zweier Körper, von denen wir um größerer Einfachheit Willen annehmen wollen, daß dieselben eine kugelförmige Gestalt haben, bei der größten Annäherung, wenn die Kugeln einander berühren, doch noch um die Summe der Radien von einander abstehen, so können die gesammten Massen beider Kugeln immer nur mit einer verhältnißmäßig geringen Kraft auf einander anziehend wirken. Anders verhält es sich jedoch mit den sich unmittelbar berührenden kleinsten Körpertheilchen; wegen des äußerst kleinen Abstandes ihrer Mittelpunkte müssen sich dieselben, verglichen mit den weiter von einander abstehenden Theilchen, mit einer unverhältnißmäßig großen Kraft anziehen. Die gesammte Anziehung zwischen zwei Körpern muß daher wesentlich mit der Größe der Berührungsfläche wachsen.

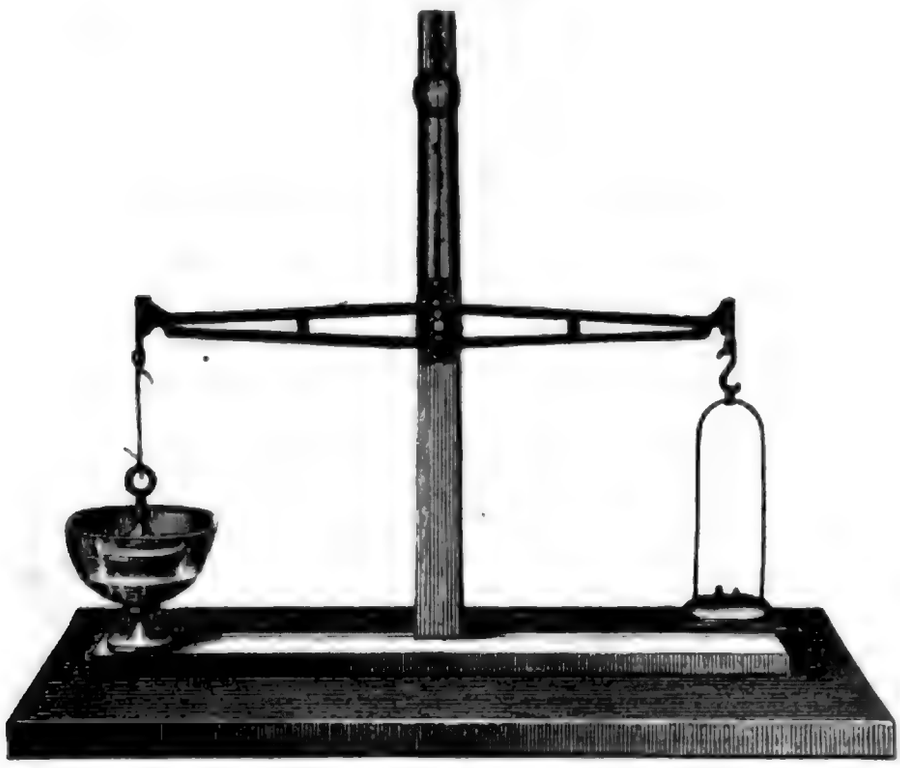
Nun berühren sich feste, starre Körper immer nur in einzelnen Punkten; es ist gar nicht möglich, ganze Flächen derselben mit einander in Berührung zu bringen; denn ihre Oberflächen stellen, wenn dieselben auch aufs sorgfältigste abgeschliffen und polirt worden sind, doch noch lange keine vollkommenen Ebenen dar. Zwischen zwei sich berührenden festen Körpern findet daher in den meisten Fällen nur eine geringe, unmerkliche Anziehung statt. Doch giebt es auch Erscheinungen, in denen sich diese Anziehung vollkommen deutlich zeigt, so z. B. in dem Anlegen der kleinen Staubtheilchen an die Wände und Decken der Zimmer und an andere Körper. Eben so beruht auf derselben das Schreiben mit Bleistift, Röthel oder Kreide. Die beim Schreiben sich ablösenden kleinen Theilchen des Schreibstifts bleiben vermöge der Anziehung an dem Material, auf welches geschrieben wird, haften.

Eine weit innigere Berührung, als zwischen zwei festen Körpern, findet im Allgemeinen zwischen einem flüssigen und einem mit demselben in Berüh-

igitized by Google

rung gebrachten festen Körper statt. Wir bemerken daher auch allemal eine mehr oder weniger große Kraft, welche der Trennung beider Körper widersteht. Man kann diese Kraft messen, wenn man z. B. eine Metallplatte an einer Wagschale in horizontaler Lage aufhängt und mit Gewichten in der andern Schale ins Gleichgewicht bringt, dann unter der Metallplatte ein Gefäß mit Wasser oder einer andern Flüssigkeit, Fig. 57, so aufstellt, daß

(Fig. 57.)



die Oberfläche eben von der untern Seite der Metallplatte berührt wird, und endlich in der andern Schale so lange Gewichte legt, bis die Platte von der Oberfläche der Flüssigkeit abgerissen wird.

Hierbei können jedoch zwei Fälle eintreten, entweder es bleiben Theile der Flüssigkeit an der Platte hängen oder nicht. Das erstere ist z. B. der Fall, wenn die Metallplatte mit Wasser, das letztere, wenn sie mit Quecksilber in Berührung war. Nur im letztern Falle geben die aufgelegten Gewichte die Kraft an, mit welcher die Platte vom Quecksilber festgehalten wurde, und die also zu überwinden war, um die Trennung zu bewirken. In dem andern Falle, in welchem Wassertheilchen an der Platte hängen blieben, war die Anziehung zwischen der Platte und dem Wasser stärker, als die Anziehung der Wassertheilchen unter sich; die Platte wurde nicht vom Wasser abgerissen, sondern das Wasser selbst wurde zerrissen.

Adhäsion und Cohäsion.

Man nennt überhaupt die Kraft, mit welcher die Theile zweier sich berührenden Körper einander anziehen, Adhäsion, und die Kraft, mit welcher die Theile des nehmlichen flüssigen oder festen Körpers sich gegenseitig anziehen, Cohäsion. Beide Kräfte dürften jedoch eigentlich nicht von einander verschieden sein; denn obschon bei festen Körpern im Allgemeinen die Cohäsion unvergleichlich größer ist, als die Adhäsion, so haben wir doch schon oben bemerkt, daß die Stärke der Anziehung wesentlich durch die Innigkeit der Berührung bedingt wird. Nun findet offenbar zwischen den Theilen des nehmlichen Körpers die allerinnigste, zwischen zwei festen Körpern aber in

der Regel nur eine auf wenige Punkte beschränkte Berührung statt, woraus sich die große Ungleichheit beider Kräfte, der Cohäsionskraft, mit welcher die Theile des nehmlichen festen Körpers sich anziehen und zusammenhalten, und der Adhäsionskraft, mit welcher die Theilchen zweier sich berührenden festen Körper einander anziehen, hinreichend erklärt.

Flüssige Körper setzen nun zwar der Verschiebung oder Trennung ihrer Theile nur einen geringen Widerstand entgegen; daß dieselben aber ebenfalls anziehend auf einander wirken, geht schon aus dem oben beschriebenen Versuche mit einer an eine Wagschale angehängten und eine Flüssigkeit berührenden Platte hervor. Als eine weitere Folge der gegenseitigen Anziehung zwischen den Theilen flüssiger Körper ist das Bestreben derselben anzusehen, wenn sie in kleineren, sich selbst überlassenen Massen vorhanden sind, die Kugelgestalt anzunehmen, sich zu Tropfen zu gestalten. Es können nehmlich in einer flüssigen Masse, deren Theile anziehend auf einander wirken, die in Folge hiervon gegen den Mittelpunkt drückenden Kräfte offenbar nur dann nach allen Richtungen hin eine gleiche Stärke besitzen und sich gegenseitig aufheben, wenn die vom Mittelpunkte bis an die Oberfläche reichenden Wassersäulen, in welche wir uns die ganze Masse zerfällt denken, eine gleiche Länge haben. Wirken daher auf eine flüssige Masse keine andern Kräfte, als die der innern Anziehung, oder haben doch diese Kräfte über andere noch zugleich einwirkenden Kräfte entschieden das Uebergewicht, so muß sich diese Masse zu einer mehr oder weniger vollkommenen Kugel gestalten.

Die kugelförmige Gestalt der Erde und die der Schwungkraft entsprechende Abplattung an den Polen sprechen daher für die Richtigkeit der geologischen Ansicht, daß die gesammte Masse der Erde sich früher in einem flüssigen Zustande befunden hat.

Wenn eine größere flüssige Masse auf einer Unterlage ruht, so wird durch den beträchtlichen Druck, welchen die obern Theile vermöge ihrer Schwere auf die unteren ausüben, ein Auseinanderfließen bewirkt. Ist aber die flüssige Masse nur klein, so gestaltet sie sich auch jetzt noch zu einem Tropfen, wenn die Adhäsion zwischen der festen Unterlage und der Flüssigkeit gegen die Cohäsionskraft, mit welcher die Theile des Flüssigen sich anziehen, nur gering ist, wie dieß z. B. bei Quecksilber und Glas der Fall ist; die flüssige Masse fließt dagegen auseinander, wenn zwischen derselben und dem festen Körper eine starke Adhäsion stattfindet, wie z. B. bei Wasser und Glas.

Ueberhaupt zeigen die mannigfaltigen auf der Adhäsion zwischen festen und flüssigen Körpern beruhenden Erscheinungen eine wesentliche Verschiedenheit, je nachdem diese Adhäsion die Cohäsionskraft der Theile des flüssigen übertrifft oder von derselben übertroffen wird. So ziehen wir z. B. einen Glasstab aus Wasser, in welches wir denselben getaucht haben, benetzt, aus Quecksilber dagegen unbenetzt hervor, weil in ersterm Falle die Adhäsion zwischen dem festen und flüssigen Körper, in letzterm die Cohäsion, mit welcher die Theile des flüssigen Körpers zusammenhalten, überwiegt. Diese Verschiedenheit wird jedoch nicht blos durch die Natur des flüssigen Körpers, Wasser oder Quecksilber, bedingt, sondern sie hängt auch von der Beschaffenheit des mit jenem in Berührung gebrachten festen Körpers ab. So werden z. B. sehr viele Metalle, Gold, Silber, Kupfer, Blei u. a. m., von Quecksilber benetzt (nicht Platin und Eisen); andererseits bleiben fettige Körper von Wasser unbenetzt, wie man schon daran sieht, daß Wasser auf eine fettige Unterlage ausgegossen sich zu Tropfen gestaltet.

Digitized by Google

Indem die Vögel, besonders die Schwimmvögel, ihre Federn mit einer öligen Flüssigkeit, welche eine am Ende des Rückens liegende Drüse absondert, tränken, indem sie in diese den Schnabel tauchen und mit demselben die Federn bestreichen, bilden diese auch beim Schwimmen auf dem Wasser eine für dasselbe undurchdringliche Hülle.

Wählen wir als Repräsentanten für das verschiedene Verhalten, welches flüssige und feste Körper bei der Berührung zeigen, je nachdem die Adhäsion zwischen beiden oder die Cohäsion der Theile des Flüssigen überwiegt, in erstern Falle Wasser und Glas, in letztern Quecksilber und Glas, so werden wir weiter noch die folgenden kurz gefaßten, aber für das angezeigte Verhältniß überhaupt giltigen Gesetze aufstellen können.

Quecksilber läßt sich viel leichter aus einem Glase ausschütten, als Wasser, welches sich bei schwacher Neigung an der Außenwand des Glases herabzieht.

Wasser steht in einem gläsernen Gefäße am Rande höher, in der Mitte tiefer, und hat also eine concave, Quecksilber dagegen eine convexe Oberfläche.

Capillarität.

Taucht man ein gläsernes Röhrchen in Wasser, so steigt dasselbe in demselben in die Höhe und zwar zu einer um so beträchtlichern Höhe, je enger das Röhrchen ist. Quecksilber steht dagegen in einem engen Röhrchen niedriger, als in dem Gefäße.

In einem Röhrchen von einer Linie innerm Durchmesser erhebt sich das Wasser etwa $^1/_2$ Zoll, in einem Röhrchen von $^1/_2$ Linie Durchmesser 1 Zoll über die Oberfläche des Wassers in dem Gefäße. Ueberhaupt wächst diese Höhe nach den Untersuchungen von Gay-Lüssac in dem nehmlichen Verhältnisse, in welchem der Durchmesser des Röhrchens abnimmt.

Da die zu diesen Versuchen angewendeten Röhrchen gewöhnlich sehr eng sind, so daß der innere Durchmesser derselben den eines Haares nicht übertrifft, so nennt man diese Röhrchen gewöhnlich Haarröhrchen und das Princip, auf welchem die Erscheinungen beruhen, welche dergleichen enge Röhrchen zeigen, die Capillaranziehung oder Capillarität.

Auf diesem Princip beruhen eine Menge bekannter Erscheinungen. Poröse Körper, wie Schwamm, Löschpapier, trocknes Holz u. dgl. m. saugen Wasser ein, indem dieses in den Canälen, welche die Poren derselben bilden, gleich wie in Haarröhrchen emporsteigt. Ebenso gehört hierher das Feuchtwerden einer Mauer, welche auf nassem Boden steht, das Aufsteigen des Oeles oder geschmolzenen Talges im Dochte, das Abwischen des Schweißes mit einem Tuche u. a. m. Der Spalt in der Feder, mit welcher wir schreiben, bewirkt, daß die Dinte sich längs der Ränder desselben bis zur Spitze hinzieht und zugleich mit dieser beim Schreiben unausgesetzt das Papier berührt.

Die Capillaranziehung ist nicht selten mit beträchtlicher Kraftäußerung verbunden. Wenn stark angespannte Seile befeuchtet werden, so dehnen sie sich in die Dicke aus und verkürzen sich zugleich mit einer Kraft, durch welche große Lasten gehoben werden können. — Felsen können auf die Art gesprengt werden, daß man in die Spalten derselben Keile von trocknem Holze treibt und hierauf anfeuchtet, wodurch dieselben ausgedehnt werden und die Felsen auseinander reißen.

Andererseits benutzen wir die Kraft, mit welcher die Theilchen sich innig berührender Körper einander anziehen, um Körper fest mit einander zu verbinden, z. B. beim Leimen. Da nehmlich, wie schon oben bemerkt, zwischen

Digitized by Google

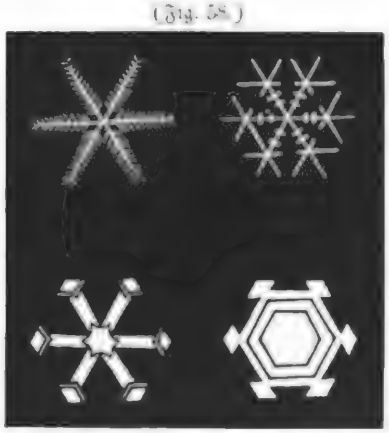
zwei festen Körpern, welche wir mit einander in Berührung bringen, immer nur eine sehr schwache Adhäsion vorhanden ist, wenn die Berührung nur in einzelnen Punkten stattfindet, so bringen wir zwischen die zu verbindenden festen Körper den flüssigen Leim, welcher sich innig an die festen Körper anlegt und auch nach dem Erstarren diese innige Berührung beibehält. Es beruht daher die Festigkeit der Verbindung zusammengeleimter Körper auf der Adhäsion zwischen dem Leim und jedem dieser beiden Körper und der Cohäsion der Theile des Leims unter sich. Aehnliches gilt vom Kitten und Löthen.

Wenn ein fester Körper aus der Auflösung in einer Flüssigkeit allmählig ausgeschieden wird, so können die sich ablagernden kleinen Theilchen eben wegen ihrer Kleinheit mit einander in so innige und vollständige Berührung treten, daß hierdurch feste Bildungen entstehen, wie dieß z. B. bei den galvanoplastischen Arbeiten der Fall ist. Aehnliches gilt von der Vergoldung und Versilberung, in welcher die Gold- oder Silbertheilchen vermöge der Adhäsion an dem zu vergoldenden oder versilbernden Körper fest haften.

Krystallisation.

Die Anziehung zwischen den kleinsten Körpertheilchen äußert sich bei dem Uebergange aus dem flüssigen in den festen Zustand noch weiter in einer höchst merkwürdigen Weise dadurch, daß die kleinsten Theilchen sich in bestimmten Gruppirungen an einander legen, wodurch die regelmäßigen Gestalten hervorgehen, welchen wir den Namen Krystalle beilegen. Die würfelförmigen Krystalle des Kochsalzes, die säulenförmigen Krystalle des Kandiszuckers bieten sehr bekannte Beispiele dar. Die Neigung des Zuckers, aus Auflösungen zu krystallisiren, ist so groß, daß dieselbe beim Hutzucker durch beständiges Umrühren verhindert werden muß. Beim Kandiszucker befördert man dieselbe dagegen durch Einführen von Fäden, indem die Krystalle sich gern an feste Körper anlegen. Aus gleichem Grunde pflegen beim Zufrieren der Gewässer die ersten Eiskrystalle an den Ufern oder im Wasser hervorragenden Steinen oder Pfählen anzuschießen. In Folge dieser Neigung des Wassers zur Krystallisation zeigen die Schneeflocken besonders bei strenger Kälte regelmäßige sternförmige Gestalten, von denen Fig. 58 einige Beispiele darstellt. Eben so legt sich der Reif an die Zweige der Bäume, an die vertrockneten Grashalme, ferner an die Fenster unserer Wohnungen die sich niederschlagenden und zu Eis erstarrenden Dämpfe in feinen regelmäßig gruppirten Nadeln an.

(Fig. 58.)



Um die Bildung der Krystalle zu beobachten, eignen sich besonders solche Salze, welche im heißen Wasser in größerer Menge, als im kalten Wasser löslich sind. In zwei Loth kochend heißem Wasser lassen sich 4 Loth Salpeter auflösen. Läßt man diese Auflösung allmählig erkalten, so sieht man den größten Theil des aufgelösten Salpeter in säulenförmigen Krystallen anschießen, indem zwei Loth kaltes Wasser nur ohngefähr $^1/_2$ Loth Salpeter aufzulösen vermögen. Die Krystalle fallen bei einer weniger concentrirten Auflösung, wenn man in zwei Loth kochendem Wasser nur etwa 2 oder 3 Loth Salpeter auflöst, schöner aus. — Krystalle können nicht

Digitized by Google

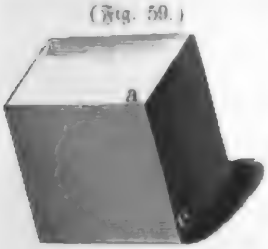
bloß erhalten werden, wenn aufgelöste Substanzen aus ihren Auflösungen beim Erkalten oder bei Verdunstung der Flüssigkeit ausgeschieden werden. Auch wenn in der Wärme geschmolzene Substanzen bei der Abkühlung erstarren, findet häufig Krystallisation statt.

Wenn man Schwefel oder metallisches Wismuth in einem Tiegel schmilzt, die geschmolzene Masse so weit erkalten läßt, daß die oberste Kruste erstarrt ist, diese dann durchstößt und die innere noch flüssige Masse ausschüttet, so sieht man, daß beim Erstarren der Schwefel im Innern in nadelförmigen, das Wismuthmetall in würfelförmigen Krystallen angeschossen ist.

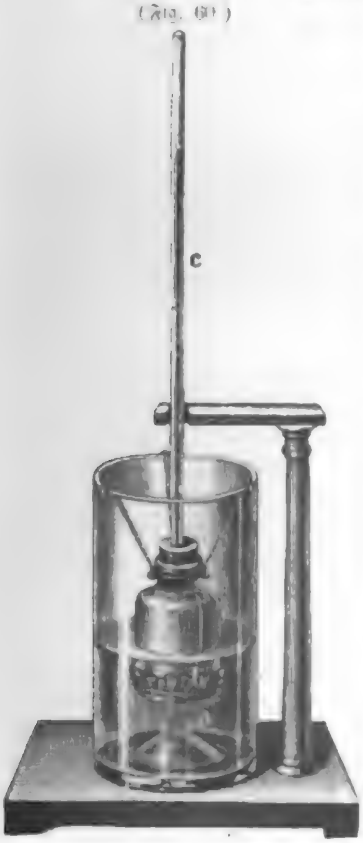
Die auf künstlichem Wege dargestellten Krystalle werden jedoch an Schönheit, besonders aber in der Größe von den in der Natur gebildeten Krystallen der Edelsteine und anderer Mineralien übertroffen. In Höhlen auf Madagaskar werden in der Gestalt von regelmäßigen sechsseitigen Säulen durchsichtige Bergkrystalle im Gewichte von mehreren Centnern angetroffen.

In genauem Zusammenhange mit der äußern regelmäßigen Gestalt der Krystalle steht die innere Struktur derselben, die Anordnung ihrer kleinsten Theile, welche sich bei den meisten Krystallen in der Eigenschaft zeigt, daß sich dieselben mit mehr oder weniger Leichtigkeit nach bestimmten Richtungen spalten lassen. Im ausgezeichnetsten Maaße zeigt diese Eigenschaft ein sehr verbreitetes Mineral, der Kalkspath, welcher sich äußerst leicht nach drei verschiedenen Richtungen spalten läßt, wodurch sechsflächige Körper hervorgehen, welche die Gestalt eines verschobenen Würfels, Fig. 59, eines sogenannten Rhomboeders haben. Wir werden auf dieses auch in optischer Hinsicht ausgezeichnete Mineral noch weiter unten zurückkommen.

(Fig. 59.)



(Fig. 60.)



Endosmose.

Eine andere Gruppe merkwürdiger Erscheinungen, welche ebenfalls auf der Anziehung der sich unmittelbar berührenden kleinsten Körpertheilchen beruht, geht hervor, wenn zwei Flüssigkeiten, welche eine Neigung besitzen, sich zu mischen, durch eine poröse Scheidewand getrennt sind. Zur bequemen Beobachtung dieser Erscheinung, welcher man den Namen Endosmose giebt, dient der in Fig. 60 abgebildete Apparat.

Ein unten offenes gläsernes Gefäß, welches sich oben in einen Hals verengt, wird unten mit einer Blase überbunden, oben aber wird vermittelst eines durchbohrten Korkes in dem Halse eine lange gläserne Röhre angebracht. Füllt man nun dieses Glas etwa mit Weingeist oder mit Wasser, welches Zucker, Kochsalz oder irgend eine andere Substanz aufgelöst enthält und hängt dasselbe in ein weiteres, mit reinem Wasser gefülltes Gefäß, so sieht man gegen das Gesetz der communicirenden Röhren die

Digitized by Google

Flüssigkeit im äußeren Gefäße fallen, im inneren Gefäße aber und in der Röhre zu einer beträchtlichen Höhe emporsteigen. Die Flüssigkeit stellt sich dagegen im inneren Gefäße niedriger, als im äußeren, wenn man die Anordnung des Versuches umkehrt und in das innere Gefäß Wasser, in das äußere Weingeist oder die Auflösung einer festen Substanz im Wasser bringt. Untersucht man beide Flüssigkeiten, so findet man, daß nicht bloß Wasser nach dem Spiritus oder der Zucker- oder Salzlösung durch die Blase sich bewegt hat, sondern daß auch umgekehrt Spiritus oder Zucker- oder Salzlösung zum Wasser durch die Blase übergegangen ist; allein der ungleiche Stand der Flüssigkeiten zeigt, daß dieser Uebergang in sehr ungleichem Maaße erfolgt ist.

Diese seit 1822 besonders von Dütrochet und weiterhin von andern Physikern studirte Erscheinung, deren Gesetze jedoch bis jetzt mit voller Bestimmtheit noch nicht ermittelt sind, dürfte ohne Zweifel auf einer ungleichen Anziehung beruhen, welche die Theile der porösen Blase auf die verschiedenen Flüssigkeiten, welche sich zu beiden Seiten derselben befinden, ausüben, in Folge dessen die eine Flüssigkeit leichter und reichlicher, als die andere hindurchgelassen wird.

Ein ähnliches Verhalten, wie thierische Blasen und Häute, zeigen auch vegetabilische Membranen, ferner Thon und andere poröse Körper, wenn auch in sehr ungleichem Maaße.

Die hier erörterten Erscheinungen der Endosmose sind darum von ganz besonderer Wichtigkeit, weil mit denselben die Fortbewegung der Säfte in den Pflanzen und zum Theil auch in thierischen Körpern im engsten Zusammenhange steht.

Absorption. Im Vorhergehenden ist nur die Rede gewesen von der Anziehung zwischen den sich berührenden kleinsten Theilen fester und flüssiger Körper. Es kann jedoch keinem Zweifel unterliegen, daß auch die luftförmigen Körper von den festen und flüssigen Körpern, mit denen sie in Berührung kommen, eine Anziehung erleiden. In Folge hiervon müssen die luftförmigen Körper an der Oberfläche der festen und flüssigen Körper eine größere Dichtigkeit, als in weiterer Ferne von demselben besitzen; das Nehmliche muß auch von den in die Poren dieser Körper aufgenommenen Lufttheilchen gelten. Es erklärt sich hieraus die Erscheinung, daß poröse Körper, z. B. Kohle, beträchtliche Mengen Luft in ihre Poren aufnehmen, absorbiren, wobei sie sich gewöhnlich in Folge der Verdichtung der aufgenommenen Luft erwärmen.

Eben so nehmen auch Flüssigkeiten von Gasen, welche mit der Oberfläche derselben in Berührung kommen, mehr oder weniger große Mengen in ihren Poren auf. Ein Maaß Wasser absorbirt z. B. ein Maaß Kohlensäuregas, aber nur $^1/_{27}$ Maaß Sauerstoff und $^1/_{40}$ Maaß Wasserstoffgas. Andere, noch viel auffallendere Beispiele wird weiter unten der chemische Theil liefern. — Das aus der atmosphärischen Luft vom Wasser absorbirte Sauerstoffgas ist für die in dem Wasser lebenden Thiere von der größten Wichtigkeit, indem es dazu dient, den Athmungsprozeß derselben zu unterhalten. — Will man das Wasser von Luft gänzlich befreien, so muß man dasselbe auskochen; nach längerem Stehen an der Luft nimmt es jedoch von dieser wieder in seinen Poren auf. Beides gilt ebenso vom Quecksilber, wie wir schon oben gelegentlich beim Barometer erwähnt haben.

Digitized by Google

Der Schall.

Wenn wir das bisher durchlaufene Gebiet noch einmal überblicken, so laſſen ſich die Wirkungen der verſchiedenartigen Naturkräfte, welche wir bis jetzt kennen gelernt haben, in das eine Wort Bewegung zuſammenfaſſen. Auch in dem Theile der Phyſik, welcher die Erſcheinungen des Schalles, des Lichtes und der Wärme umfaßt, und in den wir jetzt eintreten, haben wir es wieder mit den durch gewiſſe Naturkräfte hervorgebrachten Bewegungen zu thun; allein es ſind nicht mehr dieſe Bewegungen ſelbſt, welche unſere Aufmerkſamkeit auf ſich ziehen; es ſind vielmehr die Einwirkungen derſelben auf unſer Empfindungsvermögen, um deren Willen hauptſächlich wir dieſe Bewegungen ſtudiren. Wenn uns die Erfahrung ſelbſt darüber belehrt, daß der Schall durch die ſchwingende Bewegung elaſtiſcher Körper hervorgerufen wird, ſo iſt es eine auf Gründen der höchſten Wahrſcheinlichkeit beruhende Hypotheſe, daß auch das Licht, welches unſer Auge wahrnimmt, ſeine Entſtehung der Erzitterung der kleinſten Theile der leuchtenden Körper verdankt, und die große Analogie zwiſchen den Erſcheinungen des Lichtes und der Wärme, welche wir weiter unten kennen lernen werden, läßt die Vermuthung als naheliegend erſcheinen, daß auch die durch ihre mannigfaltigen Wirkungen ſo ausgezeichnete Wärme einen gleichen Urſprung hat.

Da wir die Schwingungen, welche unſer Ohr als Schall empfindet, unmittelbar mit dem feinern Sinne des Geſichts wahrzunehmen vermögen, ſo bieten ſich dieſe von ſelbſt als die natürlichſte und zuverläßigſte Grundlage für unſere Unterſuchungen über die hypothetiſchen Vibrationen dar, durch welche die Erſcheinungen des Lichtes oder der Wärme hervorgerufen werden.

Schwingende Saiten.

Wir wählen als das einfachſte Beiſpiel eines tönenden Körpers eine geſpannte Saite. Sich ſelbſt überlaſſen nimmt dieſelbe die Lage einer graden Linie an. Aus dieſer Lage durch irgend eine Kraft, z. B. durch einen Zug, in die Lage ACB, Fig. 61, gebracht, kehrt ſie, ſo wie ſie wieder frei gelaſſen wird, vermöge ihrer Elaſticität in die Lage der graden Linie zurück; ſie nähert ſich dieſer Lage mit zunehmender Geſchwindigkeit, und indem ſie, in der gradlinigen Lage angekommen, die größte Geſchwindigkeit hat, überſchreitet ſie dieſe Lage nach dem Trägheitsgeſetze; ſie fährt fort ſich zu bewegen bis in die Lage ADB, in welcher ſie, wenn ihrer Bewegung keine Hinderniſſe entgegenſtänden und die Saite vollkommen elaſtiſch wäre, jetzt eben ſo viel, als ACB an der andern Seite von der graden Linie abweichen würde. Aus der Lage ADB kehrt ſie dann aus gleichen Gründen in die Lage ACB zurück, und ſie würde ſo fortfahren, ohne Aufhören hin und her zu ſchwingen, wenn ihre Elaſticität eine vollkommene wäre und die Luft der ſchwingenden Bewegung der Saite keinen Widerſtand leiſtete. Weil aber dieſe Bedingungen niemals vollſtändig erfüllt ſind, ſo werden die Schwingungen der Saite allmählig immer kleiner, bis ſie endlich ganz aufhören.

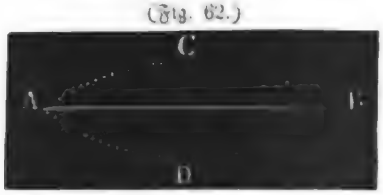
(Fig. 61.)

Das eben Ausgeſprochene erinnert an das Pendel, von welchem wir früher ganz Aehnliches vorgetragen haben, nur daß die Urſache der Bewegung dort auf der Schwere, hier auf der Elaſticität beruht. Die ſchwingende Saite ſtimmt auch noch weſentlich in dem merkwürdigen und

Digitized by Google

wichtigen Umstande mit dem Pendel überein, daß die Dauer einer Schwingung von der Größe derselben (fast) unabhängig ist. Wie wir gleich weiter sehen werden, wächst mit der Schnelligkeit der Schwingungen die Höhe des Tones. Wenn wir eine Saite anschlagen, so wird zwar der Ton allmählig schwächer, indem die Schwingungen der Saite immer kleiner werden, aber die Höhe des Tones bleibt, so lange wir ihn noch wahrzunehmen vermögen, unverändert dieselbe. Diese allgemein bekannte Erfahrung liefert uns den Beweis, daß auch die immer kleiner werdenden Schwingungen der Saite die nehmliche Zeitdauer haben, wie die ursprünglichen größeren Schwingungen.

(Fig. 62.)



Den Hin- und Hergang der Saite aus der Lage ACB in die Lage ADB und wieder zurück in die Lage ACB pflegt man mit dem Namen einer Schwingung zu bezeichnen. Die Bewegung aus der Lage ACB Fig. 62, in die Lage ADB oder aus der Lage ADB in die Lage ACB wird eine halbe Schwingung genannt. Eine ganze Schwingung besteht also aus der Summe dieser beiden Bewegungen.

Außer den Saiten sind es vorzüglich elastische Stäbe, ferner Scheiben oder Glocken, und in den Blasinstrumenten die Luft, welche in der Musik zur Hervorbringung von Tönen benutzt werden. Bei allen diesen Körpern werden die Schwingungen durch die Elasticität derselben unterhalten.

Tonhöhe. Schwingungszahl.

Je nachdem nun die einen Schall erzeugenden Schwingungen gleichförmig oder ungleichförmig erfolgen, bezeichnen wir denselben als Ton oder Geräusch. An einem Tone berücksichtigen wir aber vorzugsweise die Höhe und Tiefe. Ein Ton ist um so höher, je größer die Zahl der Schwingungen ist, welche er in der nehmlichen Zeit vollendet. Jedem Ton kommt eine bestimmte Schwingungszahl für die Secunde zu.

Um diese zu ermitteln, eignet sich ganz besonders eine von Caignard de la Tour erfundene Vorrichtung, welche den Namen Sirene führt.

(Fig. 63.)

Dieselbe besteht im Wesentlichen aus einer am Rande mit Einschnitten versehenen Scheibe, Fig. 63, welche um eine senkrechte Axe drehbar ist. Unterhalb der Scheibe befindet sich in der Nähe des gezähnten Randes eine Röhre, in deren oberem, dicht unter der drehbaren Scheibe befindlichem Boden eine längliche Oeffnung angebracht ist, welche bei der Umdrehung der Scheibe, je nachdem eine Zacke oder eine Lücke des gezähnten Randes über sie hinweg geht, abwechselnd geöffnet und geschlossen wird. Wenn man nun durch die Röhre vermittelst einer Windlade einen Luftstrom treibt, so vernimmt man bei Umdrehung der Scheibe einen Ton, welcher um so höher ausfällt, je rascher die Umdrehung der Scheibe erfolgt. Aus der Zahl dieser Umdrehungen in der Secunde und der Zahl der an dem Rande der Scheibe angebrachten Einschnitte ergiebt sich aber, wenn man diese Zahlen mit einander multiplicirt, wie oft in der Secunde die Oeffnung in der obern Bodenplatte der Röhre geschlossen und geöffnet wird, wie oft also der Luft der

Digitized by Google

Austritt aus der Röhre gestattet und wieder abgesperrt wird. Wären z. B. am Rande der Scheibe 50 Einschnitte angebracht und machte dieselbe in der Secunde 10 Umläufe, so würde sich hieraus für den unter diesen Umständen vernommenen Ton die Schwingungszahl 500 für die Secunde ergeben.

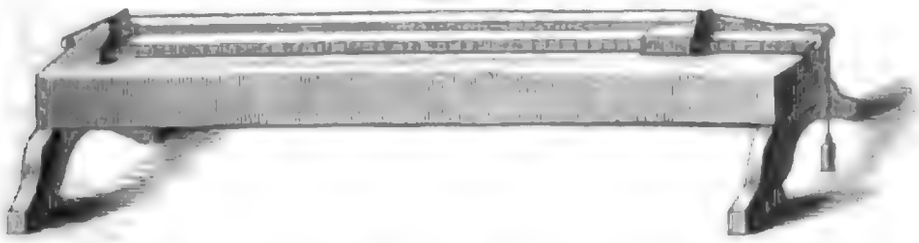
Indem die Umdrehungsgeschwindigkeit so lange vermehrt oder vermindert wird, bis der hervorgebrachte Ton mit dem Tone irgend eines bestimmten Instrumentes vollkommen harmonirt, so wird man durch das angezeigte Verfahren in den Stand gesetzt, die diesem Tone entsprechende Schwingungszahl zu ermitteln. Man hat auf diese Art gefunden, daß dem tiefsten in der Musik gebräuchlichen Tone, welchen eine 32füßige Orgelpfeife giebt, 16 Schwingungen in der Secunde zukommen. Auf den tiefsten überhaupt wahrnehmbaren Ton kann man nach Savart etwa 7, auf den höchsten 24,000 Schwingungen rechnen. Diese Zahlen sind jedoch natürlich nur als ohngefähre Angaben anzusehen, da die Grenze der Wahrnehmbarkeit für verschiedene Ohren sehr ungleich liegen kann.

Dem tiefsten in der Musik gebräuchlichen Tone, welchen eine beiderseits offene Pfeife von 32 Fuß Länge giebt, kommen, wie schon bemerkt, (ohngefähr) 16, dem a der Stimmgabeln 440 Schwingungen in der Secunde zu.

Tonverhältnisse.

In der Musik unterscheidet man acht Tonverhältnisse, deren Aufeinanderfolge dem Ohre eine gewisse Befriedigung gewährt. Die Namen derselben sind Grundton, Secunde, Terz, Quart, Quinte, Sexte, Septime und Octave. Um das Verhältniß ihrer Schwingungszahlen zu ermitteln, genügt schon eine höchst einfache Vorrichtung, welche den Namen Monochord führt, Fig. 64, und aus einer über einen Resonanzboden und

(Fig. 64.)



durch ein Gewicht gespannte Saite besteht, deren schwingender Theil sich durch einen beweglichen Steg beliebig verkürzen läßt. Je größer das die Saite spannende Gewicht ist, um so höher ist auch der Ton, welchen dieselbe giebt. Bei ungeänderter Spannung wird aber der Ton um so mehr erhöht, je mehr der schwingende Theil der Saite verkürzt wird.

Wenn man eine sehr lange und ganz schwach gespannte und daher nur sehr langsam schwingende Saite in Schwingungen versetzt und die Schwingungen derselben zählt, dann die Saite bei ungeänderter Spannung auf die Hälfte, auf den dritten Theil verkürzt, so findet man, daß dieselbe jetzt doppelt, dreimal so viel Schwingungen macht. Ueberhaupt nimmt die Zahl der Schwingungen einer Saite, wenn ihre Spannung dieselbe bleibt, im umgekehrten Verhältniß der Länge zu.

Wenden wir das eben Gesagte auf das Monochord an; nennen wir den Ton, welchen die in ihrer ganzen Länge schwingende Seite giebt, den Grundton, so vernehmen wir, wenn wir die Saite auf die Hälfte verkürzen, die Octave dieses Tones. Zwischen Grundton und Octave findet also das Verhältniß statt, daß die Octave in der Secunde doppelt so viel Schwingungen macht, als der Grundton. Verkürzen wir weiter die Saite um ein

Drittel ihrer Länge, so daß also noch zwei Drittel derselben schwingen, so vernehmen wir jetzt die Quinte. War also der Grundton C, so hören wir jetzt G. Die Schwingungszahl der Quinte (G) verhält sich hiernach zur Schwingungszahl des Grundtons wie 3 zu 2. Verkürzen wir die Saite um $^1/_3$ ihrer Länge und lassen also jetzt $^4/_5$ schwingen, so erhalten wir die Terz (E); es verhält sich daher die Schwingungszahl der Terz und des Grundtons wie 5 : 4.

Man sieht nun bald, wie sich auf diesem Wege fortfahrend für alle andern innerhalb der Octave liegenden Töne das Verhältniß ihrer Schwingungszahlen zum Grundtone ermitteln läßt. Nehmen wir für diesen, um Brüche zu vermeiden, die bequeme Zahl 24, und bezeichnen wir den Grundton mit C, so erhalten wir für die Schwingungen der auf einander folgenden Töne der Octave folgende leicht zu überblickende Zahlen:

C	D	E	F	G	A	H	c
24,	27,	30,	32,	36,	40,	45,	48.

Vergleicht man diese Töne und die zugehörigen Zahlen mit einander, so findet man, daß zwei Töne *consoniren*, wenn das Verhältniß ihrer Schwingungszahlen sich durch kleine Zahlen ausdrücken läßt, und daß dieselben *dissoniren*, wenn dieses nicht der Fall ist. So bieten z. B. die drei Töne Grundton, Terz, Quinte, deren Schwingungsverhältniß durch die Zahlen 4, 5, 6 ausgedrückt werden kann, eine Folge consonirender Töne, welche in der Musik *der große Dreiklang* genannt wird.

Unsere Leser könnten uns hier vorhalten, daß wir uns aus der Physik in das Gebiet der Musik verirrt hätten; wir müssen jedoch bemerken, daß diese Abschweifung in Folgendem uns von wesentlichem Nutzen sein wird.

Wir fassen das Ergebniß unserer bisherigen Erörterungen in den einen Satz zusammen: Die Höhe oder Tiefe eines Tones beruht physikalisch auf der Größe der Schwingungszahl desselben und die Consonanz zweier Töne auf der Einfachheit des Verhältnisses dieser Schwingungszahlen.

Schwingungsknoten.

Wir haben bisher durchgehends angenommen, daß eine Saite in ihrer ganzen Länge schwingt. Eine Saite kann jedoch auch die merkwürdige Erscheinung zeigen, daß sie sich in aliquote Theile theilt, welche zugleich nach entgegengesetzten Richtungen schwingen, wie dieß Fig. 65 darstellt. Um diese Erscheinungen hervorzubringen, hat man nur nöthig, die Saite in einem Theilungspunkte, hier z. B. in b, sanft mit dem Finger zu berühren und zwischen a und b mit dem Bogen zu streichen. Man vernimmt dann, wenn der Punkt b um ein Viertel der ganzen Saitenlänge von a absteht, die doppelte Octave des Grundtons, also einen Ton von viermal so großer Schwingungszahl. Schon hieraus läßt sich schließen, daß die Saite in Vierteln geschwungen hat. Man kann jedoch dieses Verhältniß noch unmittelbar vor Augen stellen, indem man auf die Saite an verschiedenen Stellen kleine Papierstreifen in der Form von Reitern setzt, man sieht dann, daß die bei b, c, d aufgesetzten Reiterchen sitzen bleiben, die dazwischen angebrachten aber abgeworfen werden.

(Fig. 65.)

Die in Ruhe bleibenden Punkte b, c, d werden *Schwingungsknoten* genannt, die Töne aber, welche durch die in aliquoten Theilen schwingende

Digitized by Google

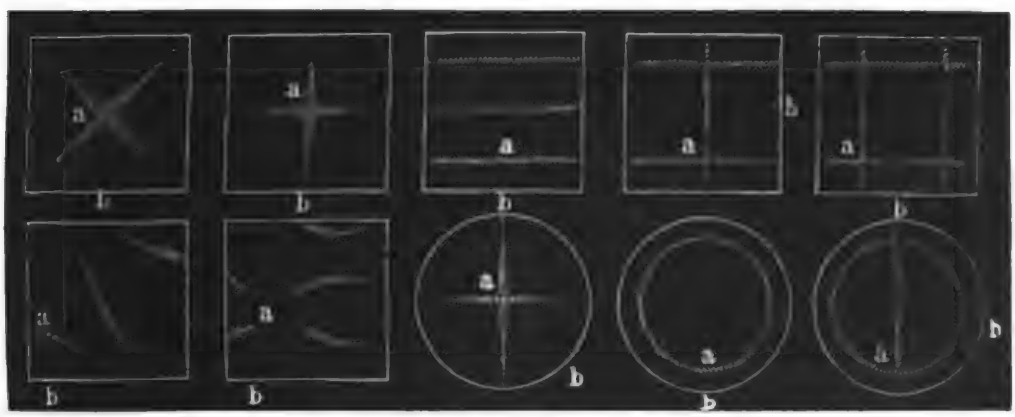
Saite hervorgebracht werden, führen den Namen Flageolettöne. Diese Töne harmoniren unter sich und mit dem Grundtone, da ihre Schwingungszahlen in einem einfachen Verhältnisse stehen.

In angenehmer Weise werden diese Töne bei der Aeolsharfe vernommen. Diese besteht aus einem Resonanzboden, über welchen mehrere Saiten gespannt sind, welche eine ganz gleiche Stimmung haben. Wird die Aeolsharfe in den Luftzug, z. B. in das geöffnete Fenster gestellt, so gerathen die Saiten in Schwingungen, und indem sie sich hierbei in aliquote Theile theilen, bilden die Töne schöne Accorde.

Klang-Figuren.

Was wir so eben bei der Saite als einen besondern Fall kennen gelernt haben, gilt für schwingende Scheiben als Regel, nehmlich daß sich dieselben in aliquote Theile theilen, welche nach entgegengesetzten Richtungen schwingen und durch ruhende Stellen, welche hier zusammenhängende Linien bilden und den Namen Knotenlinien führen, getrennt werden. Man kann dieses Verhältniß sehr leicht sichtbar machen, wenn man eine Glasscheibe mit feinem Sande bestreut, dieselbe an irgend einer Stelle (a) mit zwei Fingern festhält und an einer Stelle (b) des Randes mit einem Bogen streicht. Der Sand wird dann von den schwingenden Theilen abgeworfen und sammelt sich an den ruhenden in Linien an, welche regelmäßige Figuren darstellen, von denen Fig. 66

(Fig. 66.)



einige Beispiele zeigt. Man nennt diese Figuren gewöhnlich Chladni'sche, weil Chladni zuerst 1787 dieselben mit großem Geschick hervorgebracht hat.

Auch die Glocken, welche als gekrümmte Scheiben angesehen werden können, theilen sich beim Tönen in aliquote, nach entgegengesetzten Richtungen schwingende Theile, wobei die Knotenlinien sich im Knopfe der Glocke durchkreuzen.

Blase-Instrumente.

Außer Saiten und Scheiben finden in der Musik auch noch Stäbe, z. B. in den Spieluhren, Anwendung; wir verweilen jedoch bei diesen nicht, weil sie uns keine besonders bemerkenswerthen Erscheinungen darbieten. Flüssige Körper eignen sich wegen ihrer geringen Elasticität überhaupt nur wenig zur Erzeugung von Tönen; dagegen sind luftförmige Körper, eben weil sie im höchsten Grade elastisch sind, hierzu auch am allergeeignetsten. Die Stimme der Menschen und der Thiere wird durch Luftschwingungen erzeugt, und in der großen Zahl der Blase-Instrumente ist die Luft der tönende Körper. Die Richtigkeit der letzteren Behauptung geht schon daraus hervor, daß man eine tönende Pfeife anfassen kann, ohne das Tönen der-

Digitized by Google

selben zu stören, ferner daraus, daß zu Pfeifen auch ganz unelastisches Material, welches an sich zum Tönen durchaus untauglich ist, sehr wohl verwandt werden kann, wie dieß z. B. die bleiernen Orgelpfeifen zeigen; weiter auch daraus, daß die Höhe und Tiefe des Tones von der Beschaffenheit des Materials unabhängig ist; Pfeifen von sehr verschiedenartigem Material, Holz, Blei, Meissing, geben, wenn sie im Uebrigen eine gleiche Einrichtung haben und auf gleiche Weise angeblasen werden, auch gleich hohe Töne.

Dieselben zeigen jedoch bei gleicher Höhe des Tones eine gewisse specifische Verschiedenheit desselben, welche sich nicht näher definiren läßt und auch wohl mit dem Worte Klang bezeichnet wird. Eine bleierne Pfeife klingt anders, als eine hölzerne, auch wenn Höhe und Stärke des Tones bei beiden dieselben sind. Wir erkennen überhaupt die verschiedenen Blase-Instrumente, Flöte, Clarinette, Horn, Trompete u. s. w. an dem eigenthümlichen Klange. In allen diesen Instrumenten ist die eingeschlossene Luftsäule der tönende Körper, die Geschwindigkeit ihrer Schwingungen bestimmt die Höhe, die Größe dieser Schwingungen die Stärke des Tones. Wovon aber die Eigenthümlichkeit des Klanges abhängt, läßt sich weniger mit Sicherheit sagen. Wahrscheinlich ist dieselbe eine Folge der Resonanz, indem auch die Wände der Pfeifen mittönen, durch die Schwingungen der eingeschlossenen Luftsäule, welche hauptsächlich den Ton erzeugen, selbst in Schwingungen versetzt werden, welche den Ton der schwingenden Luftsäule verstärken und eigenthümlich modificiren.

Zungenpfeifen.

Von den verschiedenen Arten, die Luft in einer Pfeife in Schwingungen zu versetzen, heben wir die folgenden hervor. In den sogenannten Zungenpfeifen, zu denen z. B. die Clarinette und die Schnarrwerke der Orgeln gehören, wird zunächst ein elastisches Blättchen in Schwingungen versetzt, welches seine schwingende Bewegung der eingeschlossenen Luftsäule mittheilt. Die Höhe und Tiefe des Tones wird bei diesen Pfeifen vorzüglich durch das schwingende Blättchen bestimmt, wiewohl auch die Länge der Luftsäule nicht ohne Einfluß ist.

(Fig. 67.)

Lippenpfeifen.

Mit den Zungenpfeifen hat auch das Stimmorgan der Menschen und Thiere am meisten Aehnlichkeit. Zwei elastische Bänder, die sogenannten Stimmbänder, welche oben über den Kehlkopf ausgespannt sind und nur eine schmale Spalte zwischen sich lassen, durch welche die Luft austreten kann, theilen ihre Schwingungen, in welche sie durch diese ausströmende Luft versetzt werden, der in der Mundhöhle eingeschlossenen Luft mit. Die Höhe und Tiefe des Tones hängt von der größeren oder geringeren Spannung der Stimmbänder ab; das Artikulirte des Tones aber, daß wir bestimmte Laute vernehmen, wird durch die Stellung der Lippen, der Zunge, der Zähne u. s. w. bedingt. Worin aber diese Modification eigentlich besteht, davon fehlt uns zur Zeit noch jede Kenntniß.

Bei den Lippenpfeifen wird die eingeschlossene Luftsäule durch das Einblasen eines schmalen Luftstromes in die schwingende Bewegung gebracht. Fig. 67 stellt eine solche Pfeife im Durchschnitt dar. Die bei c eingeblasene Luft trifft bei aa auf eine die Pfeife in der Quere fast schließende Platte und theilt sich hier in zwei Theile, von denen der eine durch die Oeffnung d, das sogenannte Mundloch, austritt, der andere

aber in die Röhre aa bb übergeht und die dort eingeschlossene Luftsäule, indem er sich gleichsam an derselben reibt, in schwingende Bewegung versetzt. — Diese Schwingungen zeigen eine wesentliche Verschiedenheit, je nachdem die Pfeife am untern Ende bb offen oder geschlossen, gedeckt ist.

In einer gedeckten Pfeife wird die Luft durch den eingeblasenen Luftstrom von dem Mundloche a, Fig. 68, gegen den Boden b hingetrieben und hier so lange verdichtet, bis die Verdichtung einen gewissen Grad erreicht hat, worauf sich dann die Luft in der entgegengesetzten Richtung von b nach a hin bewegt. Diese Bewegung dauert so lange, bis in b ein gewisser Grad der Verdünnung eingetreten ist, worauf dann wieder die Bewegung in der Richtung von a nach b hin erfolgt u. s. w.

(Fig. 68.)

Ist die Pfeife am untern Ende offen, so bildet sich (bei der einfachsten Schwingungsart) in der Mitte derselben, b, Fig. 69, ein Schwingungsknoten, in welchem die Luft in Ruhe bleibt und zu dessen beiden Seiten dieselbe nach entgegengesetzten Richtungen schwingt. Man kann daher die offene Pfeife als aus zwei gedeckten Pfeifen bestehend ansehen, welche mit den geschlossenen Enden gegen einander stoßen. Die Richtigkeit dieser Ansicht geht schon aus dem Umstande hervor, daß eine offene Pfeife, wenn sie mit einer gedeckten den nehmlichen Ton geben soll, die doppelte Länge haben muß. Das Vorhandensein des Schwingungsknotens in der Mitte der Pfeife ist jedoch durch Hopkins auch auf dem Wege des Versuches direct nachgewiesen worden. Hopkins senkte nehmlich in eine gläserne aufrecht stehende Pfeife einen an drei Fäden, wie eine Wagschale, aufgehängten metallenen Ring, über welchen ein mit Sand bestreutes Häutchen ausgespannt war. Befand sich dieser Ring in der Gegend des Schwingungsknotens, und wurde die Pfeife zum Tönen gebracht, so blieb der Sand in Ruhe, in größerer Entfernung vom Schwingungsknoten aber wurde derselbe herabgeworfen.

(Fig. 69.)

Bei offenen und gedeckten Pfeifen, welche parallele Wände haben und mehrmals (wenigstens 6mal) länger, als breit sind, ist die Tonhöhe der Länge umgekehrt proportional, der Ton also um so höher, je kürzer die Pfeife ist. Soll jedoch die offene Pfeife einen gleich hohen Ton mit einer gedeckten geben, so muß sie, wie schon oben bemerkt, doppelt so lang sein. Bei gleicher Länge giebt die offene Pfeife den doppelt so hohen Ton, d. h. die Octave, wie die gedeckte. Wenn bei einer offenen Pfeife die Wände sich erweitern, so verkürzt sich dieselbe gleichsam und der Ton wird höher, verengen sich dagegen die Wände, so fällt der Ton niedriger aus, indem die Pfeife sich gleichsam einer gedeckten nähert. — Sind in einer offenen Pfeife Seitenöffnungen, welche nicht zu klein sind, so erstreckt sich die schwingende Luftsäule nur bis zur ersten Oeffnung.

Wir haben bisher bloß den Fall betrachtet, daß in einer gedeckten Pfeife nur ein Schwingungsknoten am geschlossenen Ende, in einer offenen Pfeife in der Mitte entsteht; es kann indeß in beiden Pfeifen die Luft auch mit mehreren Schwingungsknoten schwingen; wir verweilen jedoch hierbei nicht, da wir Aehnliches schon bei den Saiten kennen gelernt haben; wir bemerken nur,

daß hierin die Erscheinung ihre Erklärung findet, daß Blasinstrumente, wie Trompeten, Hörner, welche keine Seitenöffnungen haben, nach Verschiedenheit des Anblasens verschiedene Töne geben können, indem die schwingende Luftsäule sich in eine mehr oder minder große Anzahl durch Schwingungsknoten getrennter schwingender Theile theilt.

Endlich bemerken wir noch, daß das Vorhergehende weniger Anwendung auf die Flöte wegen des bei derselben nicht in der Richtung der Länge, sondern von der Seite her erfolgenden Anblasens findet.

Fortpflanzung des Schalles.

So wie die Luft vermöge ihrer Elasticität zur Hervorbringung von Tönen vorzüglich geeignet ist, so ist dieselbe auch das beste und hauptsächlichste Fortpflanzungsmittel des Schalles. Obschon feste und selbst flüssige Körper, wie viele bekannte Erfahrungen lehren, den Schall fortzupflanzen vermögen, so gelangen doch die Töne, welche wir vernehmen, vorzugsweise durch die Luft zu unserm Ohre.

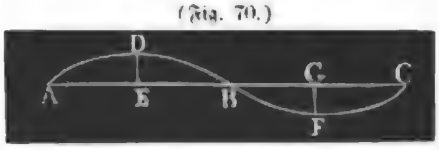
Indem ein tönender Körper nach einer Seite hin eine Schwingung macht, bringt er zunächst an dieser Seite in der Luft, welche er vor sich hertreibt, eine Verdichtung, an der andern Seite eine Verdünnung hervor; und indem der tönende Körper demnächst nach der andern Seite schwingt, tritt an die Stelle der früheren Verdichtung oder Verdünnung der entgegengesetzte Zustand. Die Verdichtung der Luft, welche der schwingende Körper vor sich hertreibt, erreicht mit dem Ende dieser Schwingung ihren höchsten Grad; die Luft dehnt sich wieder aus; allein sie kehrt nicht blos in den früheren Zustand zurück, sondern sie fährt vermöge des Trägheitsgesetzes (ein jeder bewegte Körper hat das Bestreben, seine Bewegung fortzusetzen) fort, sich auszudehnen und geht in den Zustand der Verdünnung über. Indem sie aber hierbei die angrenzende Luftschicht vor sich hertreibt, wird diese ebenfalls verdichtet, welche sich demnächst wieder ausdehnt und hierbei eine folgende Luftschicht verdichtet. Auf diese Art bilden sich um den schwingenden Körper abwechselnde Schichten von verdichteter und verdünnter Luft, welche sich um den schwingenden Körper als Mittelpunkt in kugelförmiger Gestalt immer weiter und weiter ausbreiten, in ähnlicher Art wie die Wellen im Wasser über die Oberfläche desselben in Form von Kreisen fortschreiten.

Wellen.

Da wir diese unmittelbar zu beobachten vermögen, während wir auf das Vorhandensein der den Schall in der Luft fortpflanzenden Wellen nur aus theoretischen Gründen schließen und da die einen die nehmlichen Gesetze, wie die andern befolgen; so bieten die im Wasser (oder Queckſilber) erregten Wellen das geeignetste Mittel dar, diese Gesetze zu studiren. Wir heben hier von diesen Gesetzen die folgenden heraus:

An jeder im Wasser erregten Welle unterscheiden wir den erhabenen Theil ADB, Fig. 70, und den vertieften Theil BFC. Der erstere wird gewöhnlich Wellenberg, der letztere wird Wellenthal genannt; die Summe aus den Höhen beider Theile DE und CF heißt die Höhe und die Summe aus den Breiten beider Theile, AB und BC zusammen, oder AC, wird die Länge der Welle genannt.

(Fig. 70.)



Indem die über die Oberfläche des Wassers sich kreisförmig ausbreitende Welle sich immer mehr vom Mittelpunkte entfernt, nimmt ihre Höhe beständig ab, bis dieselbe zuletzt unmerklich wird.

Trifft eine Welle auf eine feste Wand in senkrechter Richtung, so wird sie in der nehmlichen Richtung zurückgeworfen; trifft sie schief auf die Wand, so wird sie unter dem nehmlichen Winkel an der andern Seite zurückgeworfen.

Zwei zu gleicher Zeit im Wasser erregte Wellen gehen durch einander hindurch, ohne sich in ihrer fortscheitenden Bewegung zu stören.

An den Stellen jedoch, an welchen sie sich kreuzen, findet da, wo Wellenberg mit Wellenberg und Wellenthal mit Wellenthal zusammen fällt, eine Vergrößerung der Wellenhöhe statt; dagegen wird diese Höhe vermindert an den Stellen, wo der Berg der einen Welle mit dem Thale der andern zusammentrifft.

Diese Gesetze gelten, wie gesagt, auch von den den Schall fortpflanzenden Luftwellen. Ein wesentlicher Unterschied besteht jedoch darin, daß bei den Wellen im Wasser die Wassertheilchen sich auf und nieder, bei den Schallwellen die Lufttheilchen sich vorwärts und rückwärts, also bei diesen in der Richtung des Radius, bei jenen dagegen senkrecht auf den Radius bewegen. Die Wellen im Wasser und die Schallwellen in der Luft stimmen wieder darin mit einander überein, daß bei beiden ein eigentliches Fortschreiten der bewegten Theilchen nicht stattfindet, indem dieselben nach vollendeter Schwingung in ihre frühere Lage zurückkehren, während die Welle selbst weitergeht. Man sieht dieß bei den Wellen im Wasser deutlich an jedem auf der Oberfläche desselben schwimmenden Körper, z. B. an einem Strohhalme, welcher gehoben wird, wenn der Wellenberg, und sich senkt, wenn das Wellenthal unter ihm hinweg geht, aber seinen Ort auf der Oberfläche des Wassers nicht verändert.

Geschwindigkeit des Schalles.

Die Geschwindigkeit, mit welcher der Schall in der Luft sich fortpflanzt, ist, verglichen mit der Geschwindigkeit des Lichtes, eine äußerst mäßige, wie viele bekannte Erfahrungen uns lehren. Sehen wir in der Entfernung von einigen tausend Schritten die geschwungene Axt eines Arbeiters gegen den zu fällenden Baum schlagen oder den Blitz des von einem Jäger abgefeuerten Gewehres, so vergehen erst mehrere Secunden, ehe wir den zugehörigen Schall vernehmen. Nach den von verschiedenen Physikern mit der größten Sorgfalt angestellten Versuchen, bei denen in einer abgemessenen Entfernung aufgestellte Geschütze abgefeuert und die Zwischenzeiten zwischen der Wahrnehmung des Blitzes und des Schalles beobachtet wurden, pflanzt sich der Schall in der Luft mit gleichförmiger Geschwindigkeit fort und durchläuft in trockner Luft bei einer Temperatur von 15 Centesimal-Grade 1050 Pariser Fuß in der Secunde.

Bei höherer oder niedrigerer Temperatur ist die Geschwindigkeit des Schalles etwas größer oder kleiner und zwar kann man auf jeden Grad über oder unter 15^0 eine Zu- oder Abnahme der Geschwindigkeit von ohngefähr 2 Fuß rechnen. In feuchter Luft ist die Geschwindigkeit des Schalles um ein Geringes größer, als in trockner. Der Wind übt auf die Geschwindigkeit des Schalles keinen erheblichen Einfluß aus, während der Einfluß desselben auf die Stärke des Schalles bekanntlich sehr beträchtlich ist.

Stärke des Schalles.

Die Stärke des Schalles nimmt überhaupt mit der Ausbreitung der den Schall fortpflanzenden Wellen ab, wahrscheinlich im quadratischen Verhältnisse der Entfernung, d. h. der Schall vermindert in der doppelten, dreifachen Entfernung seine Stärke auf den vierten, neunten Theil; doch fehlt es zur Zeit selbst noch an der Möglichkeit hierüber directe Versuche anzustellen.

Wird der Schall an der Ausbreitung verhindert, so nimmt seine Stärke

Digitized by Google

in weit geringerem Verhältnisse ab. So läßt sich z. B. der Schall durch Röhren in sehr beträchtliche Entfernungen ohne erhebliche Schwächung fortpflanzen. Man macht hiervon in größeren Fabrikgebäuden nützlichen Gebrauch, indem man die Gemächer der einzelnen Arbeiter durch blechene Röhren mit dem Zimmer des Dirigenten verbindet. Ebenso erhält der Matrose im Mastkorbe eines Schiffes durch eine Röhre, welche von da bis in die Cajüte des Capitains führt, von diesem Befehle, und ertheilt auf demselben Wege Antwort. — Biot benutzte die Anlage einer Wasserleitung in Paris zur Anstellung von akustischen Versuchen und fand bei dieser Gelegenheit, daß jedes an einem Ende der eine halbe Meile langen Röhrenleitung leise gesprochene Wort am andern Ende deutlich vernommen werden konnte.

(Fig. 71.)

Um den Schall stärker nach einer Richtung fortzupflanzen, indem die Ausbreitung desselben nach andern Richtungen gehemmt wird, dient auch das Sprachrohr, welches aus einer mehrere Fuß langen sich kegelförmig erweiternde Röhre besteht, Fig. 71.

Während das Licht die unermeßliche Ferne des Weltraumes durchdringt und uns Kunde von den entlegensten Gestirnen bringt, können wir natürlich durch den Schall nur von Ereignissen, welche auf unserer Erde oder doch innerhalb der Atmosphäre derselben sich zutragen, Kenntniß erhalten. Als Beispiele einiger sehr großen Entfernungen, in denen der Schall in einzelnen Fällen vernommen worden ist, heben wir folgende hervor: Im Jahre 1792 wurde die Kanonade von Mainz bei Eimbeck in 33 Meilen Entfernung, 1809 wurden Kanonenschüsse auf Helgoland in Hannover, 33 Meilen, und 1832 die Kanonade von Antwerpen im sächsischen Erzgebirge, 80 Meilen weit, gehört.

Zurückwerfung des Schalles.

So wie die Wellen im Wasser von einer Wand, auf welche sie treffen, zurückgeworfen werden, so gilt dasselbe auch von den den Schall fortpflanzenden Luftwellen, wie sich dieß sehr deutlich in der bekannten Erscheinung des Echo's zeigt. Damit jedoch ein Echo wirklich zu Stande komme, darf die den Schall zurückwerfende Wand unserem Ohre nicht zu nahe sein. Wir vermögen nehmlich in der Secunde nur etwa 9 Töne deutlich von einander zu unterscheiden. Soll also unser Ohr den ursprünglichen und den reflectirten Schall deutlich von einander unterscheiden, so muß die Zwischenzeit zwischen der Ankunft des ersteren und der Ankunft des letzteren an unserem Ohre wenigstens $^1/_9$ Secunde betragen. Der Schall durchläuft, wie wir oben gesehen haben, in der Secunde 1050 Fuß, also in dem neunten Theile einer Secunde 116 Fuß (ohngefähr), und da er den Weg sowohl nach der Wand hin, als wieder zurück zu machen hat, so muß diese wenigstens 58 Fuß von unserem Ohre entfernt sein.

Es versteht sich wohl von selbst, daß diese Zahl nur für eine ohngefähre Bestimmung gelten kann, da die Zahl der Töne, welche das Ohr in der Secunde zu unterscheiden vermag, welche wir oben zu 9 angenommen haben, für mehr oder weniger geübte Ohren sehr verschieden liegen kann. Klar aber geht aus unserer Erörterung für das Zustandekommen eines Echo's als wesentliche Bedingung eine hinreichende Entfernung der reflectirenden Wand hervor.

Ist diese Entfernung nur gering, so fällt der reflectirte Schall fast ganz

Digitized by Google

mit dem ursprünglichen zusammen und wirkt daher zur Verstärkung desselben, ein Hauptgrund, weshalb wir in geschlossenen Räumen leichter verstanden werden, als im Freien, wozu jedoch auch noch die Referenz der Wände, auf welche der Schall trifft, beitragen dürfte. Ist die Entfernung größer, aber doch noch beträchtlich kleiner, als wir oben angegeben haben, so fällt der reflectirte Schall nur zum Theil mit dem ursprünglichen zusammen, er verstärkt daher nicht blos denselben, sondern er verlängert ihn auch, wodurch die Erscheinung des Nachhalles hervorgeht. Erst wenn die reflectirende Wand so weit entfernt ist, daß beide deutlich von einander unterschieden werden können, entsteht der Wiederhall oder das Echo.

Sind zugleich mehrere den Schall reflectirende Wände in verschiedenen Entfernungen vorhanden, so daß die von denselben zurückgeworfenen Schallwellen zu verschiedenen Zeiten ans Ohr gelangen, so kann der nehmliche Ton mehrmals vernommen werden, wodurch ein mehrfaches Echo entsteht. Ausgezeichnete Echo's sind z. B. bei der Lurlei am Rhein, bei Adersbach in Böhmen. Das berühmteste aber ist das des Schlosses Simonetta bei Mailand; durch die Reflexion des Schalles an den Flügeln dieses Schlosses wird ein aus einem Fenster des Hauptgebäudes abgefeuerter Pistolenschuß gegen fünfzigmal wiederholt.

Stöße.

Bei dem oben angeführten allgemeinen Gesetz der Wellenbewegung haben wir gesehen, daß zwei Wellen bei ihrem Zusammentreffen sich eben so wohl verstärken, als schwächen können. Dasselbe muß daher unter gewissen Bedingungen auch für zwei Töne gelten.

Auf diesem Prinzipe beruht die Erscheinung der sogenannten musikalischen Stöße. Werden nehmlich zwei Saiten zugleich angeschlagen oder noch besser zwei Orgelpfeifen zum Tönen gebracht, welche nicht genau, aber doch sehr nahe denselben Ton geben, so nimmt man in regelmäßiger Folge ein wechselndes Stärker- und Schwächerwerden des Tones wahr. Dieses wechselnde Zu- und Abnehmen in der Stärke des Tones findet seine Erklärung in dem wechselnden Zusammentreffen gleichartiger und ungleichartiger Theile, Wellenberge und Wellenthäler, der beide Töne zu unserm Ohre fortpflanzenden Schallwellen.

Nehmen wir nehmlich an, um von einem bestimmten Beispiele auszugehen, daß dem einen Tone 100 Schwingungen, dem andern, welcher nach unserer Annahme etwas, aber nur wenig verschieden sein soll, 101 Schwingungen in der Secunde zukommen, so wird, wenn für irgend einen Moment gleichartige Wellentheile, also von beiden die Wellenberge und von beiden die Wellenthäler zugleich an unser Ohr gelangen und sich also beide im höchsten Maaße verstärken, bei der nächstfolgenden Schwingung dieses Zusammentreffen schon nicht mehr ganz vollständig stattfinden, weil ja die Schwingungen des einen Tones sich etwas rascher, als die des andern folgen. Mit jeder folgenden Schwingung wird dasselbe immer mehr aus einander gehen und sich folglich immer weniger verstärken, ja späterhin sogar schwächen. Denn nachdem der erste Ton 50 Schwingungen gemacht hat, hat der andere deren $50^1/_2$ vollendet; es werden daher jetzt die gerade entgegengesetzten Wellentheile, der Wellenberg des einen Tones und das Wellenthal des andern gleichzeitig an unser Ohr gelangen. Sie werden sich also jetzt am meisten schwächen, bis nach abermals 50 und $50^1/_2$ Schwingungen, also im Ganzen nach 100 und 101 Schwingungen des einen und des andern Tones wieder die größte Verstärkung eintritt.

Digitized by Google

Das Ohr vernimmt daher in jeder Secunde eine Anschwellung des Tones, einen sogenannten Stoß, wenn die Schwingungszahlen beider Töne wie in dem angenommenen Beispiele sich um Eins unterscheiden; es kommen dagegen drei Stöße in der Secunde zum Vorschein, wenn die Schwingungszahlen des einen Tones 100, die des andern 103 beträgt, also beide sich um drei unterscheiden; überhaupt ist die Zahl der in der Secunde vernehmbaren Stöße gleich dem Unterschiede der Schwingungszahlen beider zugleich erklingenden Töne.

Wir haben oben angegeben, wie sich diese interessante Erscheinung hervorrufen läßt, indem man nehmlich zugleich zwei einander sehr nahe liegende Töne erzeugt. Die Erscheinung tritt jedoch auch nicht selten von selbst auf, ohne daß ihre Erzeugung beabsichtigt wird. Dieß ist z. B. bei tönenden Glocken der Fall. Wie wir früher gesehen haben, schwingen diese allemal in aliquoten Theilen. Denken wir uns, daß die Glocke eine vollkommen regelmäßige Gestalt besitzt und aus einer durchaus gleichmäßigen Masse besteht, so werden auch die aliquoten Theile, in welche dieselbe beim Tönen sich theilt, genau mit einander übereinstimmen und genau denselben Ton geben. Diese Bedingungen sind jedoch bei keiner Glocke vollständig erfüllt; es stimmen daher die Töne der aliquoten Theile nicht vollkommen überein, sondern weichen um eine kleine Differenz von einander ab und müssen folglich, indem sie zugleich erklingen, bald stärker, bald schwächer vernommen werden, mit einem Worte Stöße erzeugen. Und in der That vernimmt man bei jeder angeschlagenen Glocke beim allmähligen Verklingen des Tones ein wechselndes Stärker- und Schwächerwerden desselben.

Interferenz der Schallwellen.

Wenn wir bei der Erklärung dieser vielleicht minder wichtigen Erscheinung länger verweilt haben, so ist dieß vorzüglich in Rücksicht auf die Lehre vom Lichte geschehen. Wir werden dort einer Gruppe der verbreitetsten und bekanntesten Erscheinungen begegnen, welche lediglich ihre Erklärung in dem so eben ausgebeuteten Principe finden, daß nehmlich Wellen beim Zusammentreffen sich eben so wohl verstärken, als schwächen können. Man pflegt diese Erscheinung mit dem Namen Interferenz zu bezeichnen. Es erschien uns aber von besonderer Wichtigkeit bei der großen Analogie zwischen der Erscheinung des Schalles und des Lichtes, wenn wir später von diesem Principe in der Optik den wesentlichsten Gebrauch machen, unsere Leser dann auf akustische Erscheinungen zurück verweisen zu können, welche ebenfalls in diesem Principe ihre Erklärung finden.

Combinationstöne.

Wir reihen an die vorhergehende Erörterung über die Erscheinungen der Stöße noch die Bemerkung an, daß, wenn die Differenz der Schwingungszahlen zweier zugleich vernommenen Töne eine beträchtlich große ist, also die Stöße sehr rasch auf einander folgen, dieselben selbst einen tiefer liegenden Ton, dessen Schwingungszahl eben jener Differenz gleich ist, erzeugen können. Man nennt dergleichen Töne Combinationstöne. Wenn man z. B. auf einer Orgel zugleich zwei Pfeifen zum Tönen bringt, welche um eine Quinte auseinander liegen, so vernimmt man neben jenen Tönen auch noch die nächst niedrigere Octave des tieferen Tones. Denn wenn z. B. dieser die Schwingungszahl 240, also der Quinte desselben die Zahl 360 zukommt, so werden beim gleichzeitigen Tönen beider Pfeifen 120 Stöße in der Secunde hervorgebracht, welche im Ohre für sich die Empfindung eines Tones hervorbringen, welcher um eine Octave tiefer liegt, als der niedrigere der beiden erzeugten Töne.

Digitized by Google

Zum Schluſſe unſerer Erörterung über den Schall ſtellen wir noch die folgende theoretiſche Betrachtung an, welche uns ebenfalls bei den optiſchen Unterſuchungen, welche demnächſt der Gegenſtand unſerer Unterhaltung bilden werden, eine förderſame Unterſtützung gewähren dürfte.

Länge der Schallwellen.

Wie wir oben geſehen haben, durchlaufen die den Schall in der Luft fortpflanzenden Wellen 1050 Fuß in der Secunde. Die durch die erſte Schwingung des ſchallenden Körpers erzeugte Welle hat ſich alſo nach Verlauf einer Secunde um 1050 Fuß von demſelben entfernt, daſſelbe wird eben ſo von der zweiten, dritten und jeder folgenden Schwingung und den durch dieſelben erzeugten Wellen gelten. Soll aber die einer folgenden Schwingung entſprechende Welle an die Stelle der nächſtvorhergehenden treten, ſo muß dieſe während der Dauer einer Schwingung gerade um eine Wellenlänge fortſchreiten, und folglich während einer Secunde um ſo viel Wellenlängen, als der tönende Körper in der Secunde Schwingungen macht. Indem ſo eine Wellenlänge gleichſam die Größe des Schrittes anzeigt, um welche die Schallwelle mit jeder neuen Schwingung des tönenden Körpers weiter ſchreitet, ſo muß ſich uns offenbar die Größe der Schritte, d. h. die Länge der Wellen ergeben, wenn wir mit der Zahl derſelben in den durchlaufenen Weg, welcher für alle Töne der nehmliche iſt, nehmlich 1050 Fuß beträgt, dividiren. Dem tiefſten wahrnehmbaren Tone kommen, wie wir oben geſehen haben, 7 Schwingungen in der Secunde zu; die Länge ſeiner Wellen beträgt alſo 150 Fuß; auf den höchſten Ton kommen dagegen 24000 Schwingungen, und die Wellenlänge deſſelben beträgt ohngefähr $^1/_{23}$ Fuß, alſo wenig mehr als einen halben Zoll. Dem a der Stimmgabeln entſprechen 440 Schwingungen in der Secunde, die Wellenlänge deſſelben beträgt nicht ganz $2^1/_2$ Fuß.

Es unterſcheiden ſich daher die Töne, welche wir vernehmen, ebenſo ſehr durch die raſche Folge, in welcher die Wellen, welche dieſelben fortpflanzen, unſer Ohr treffen, als durch die Größe dieſer Wellen.

Das Licht.

Erzeugung des Lichtes.

Während die belebte Natur — abgeſehen von dem Rollen des Donners und dem Brauſen des Windes — faſt durchgehends ſtumm und ſtill iſt, Töne meiſt nur von beſeelten Weſen, Menſchen oder Thieren, nach Willkühr hervorgebracht werden, ſtrahlen umgekehrt verhältnißmäßig nur wenige Thiere ein ſchwaches, nur zur Nachtzeit wahrnehmbares Licht aus; ebenſo wird nur in ſeltenern Fällen durch den Lebensprozeß der Pflanzen ein vorübergehender Lichtſchein hervorgerufen.

Wie das mit ungeſchwächter Kraft ſeit Jahrtauſenden die Erde und die übrigen Trabanten erleuchtende Licht der Sonne entſteht, iſt uns freilich gänzlich unbekannt. Das Licht, welches wir nach unſerer Willkühr hervorrufen, wird uns faſt durchgehends von anorganiſchen oder von organiſchen Körpern nach gänzlichem Aufhören des Lebensprozeſſes derſelben meiſt in Folge eines chemiſchen Prozeſſes, Verbindung mit Sauerſtoff, geliefert, indem überhaupt allemal, wenn zwei Körper ſich mit großer Lebhaftigkeit verbinden, dieſelben erglühen, alſo nach der Anſicht der Vibrationshypotheſe, von welcher wir ſogleich ausführlicher handeln werden, die kleinſten Theile derſelben in Schwingungen gerathen, welche ſich als Licht- und Wärmeſtrahlen durch den Aether fortpflanzen.

Ein anderes allgemein bekanntes Erregungsmittel des Lichtes bietet die Wärme dar; weiterhin werden wir auch die Electricität als ein Mittel, besonders kräftiges Licht zu erzeugen, kennen lernen.

Wesen des Lichtes.

Während uns das Licht die uns umgebende Körperwelt sichtbar macht, vermögen wir das Licht selbst nicht wahrzunehmen. Ueber die Art und Weise, wie der Schall entsteht, welchen unser Ohr vernimmt, konnten wir uns durch den noch feineren Sinn des Gesichts belehren. Ueber das Licht, welches unser Auge wahrnimmt, vermögen wir uns nicht durch einen noch feinern Sinn Aufschluß zu verschaffen. Erscheint es so als unmöglich, auf empirischem Wege, durch unmittelbare Beobachtung, das Wesen des Lichtes zu ermitteln, so stellt sich für den denkenden Geist die Aufgabe, auf dem Wege der geistigen Forschung die angemessenste Deutung und Auslegung der Erscheinungen zu gewinnen.

Werth der Hypothese überhaupt.

Wird uns eine Hypothese dargeboten, in welcher eine gewisse Gruppe von Erscheinungen ihre vollständige Erklärung findet, so wird dieselbe zwar noch nicht zur Gewißheit, — nur die unmittelbare Erfahrung kann uns volle Gewißheit geben, aber sie erhält doch einen hohen Grad von Wahrscheinlichkeit. Eine Hypothese verliert dagegen alle Giltigkeit, sie fällt gänzlich, wenn auch nur eine Erscheinung mit derselben in directen Widerspruch tritt.

Wir bedürfen der Hypothese, um uns durch Zurückführung auf ein gemeinschaftliches Prinzip die Uebersicht über die Mannigfaltigkeit der Erscheinungen zu erleichtern; zugleich kann auch eine passende Hypothese dazu dienen, uns Fingerzeige über die bei weiterer Forschung einzuschlagenden Wege zu geben.

Emanations-Hypothese.

In Hinsicht des Lichtes haben die Physiker lange Zeit hindurch die Emanations-Hypothese, nach welcher das Licht aus einer feinen, von den leuchtenden Körpern ausströmenden Materie besteht, für die einfachste und eben darum natürlichste gehalten. Schon im Jahre 1665 lehrte jedoch der Italiener Grimaldi Erscheinungen kennen, für welche die Emanationshypothese nicht nur keine Erklärung zu geben vermag, die derselben vielmehr geradezu widerstreiten. Grimaldi ließ nehmlich in ein übrigens verfinstertes Zimmer die Sonnenstrahlen durch zwei nahe neben einander befindliche feine Oeffnungen treten, und indem er dieselben mit einem weißen Schirme auffing, entstanden auf demselben zwei runde Sonnenbilder. Wurde der Schirm so weit entfernt, daß beide Sonnenbilder in einander griffen, so zeigte zwar der beiden Bildern gemeinschaftliche Theil im Allgemeinen eine größere Helligkeit, als die nicht gemeinschaftlichen Theile; an den Rändern des gemeinschaftlichen Theiles erschienen jedoch abwechselnd hellere und dunklere Streifen, und diese letzteren besaßen, obschon sie durch beide Oeffnungen Licht erhielten, dennoch eine geringere Helligkeit, als die nur durch eine Oeffnung erleuchteten Stellen. — Schon Grimaldi zog hieraus den für die Lehre vom Lichte und die richtige Deutung der optischen Erscheinungen überhaupt so äußerst wichtigen Schluß, daß Licht zu Licht hinzugefügt sich nicht in allen Fällen verstärkt, sondern unter gewissen Umständen auch schwächen kann.

Standen nun auch diese und andere Erscheinungen, welche den Namen Interferenzerscheinungen führen, und von denen wir weiter unten ausführlicher handeln werden, der Emanationshypothese direct entgegen, so wurden dieselben doch weniger beachtet, indem Newtons großartige Entdeckungen in andern Zweigen der Optik die Aufmerksamkeit der Physiker fesselten, und durch Newton's Ansehen bewogen, welcher seine Beobachtungen in der Sprache der Emanationshypothese vortrug, huldigten die Physiker lange Zeit

Digitized by Google

faſt allgemein dieſer Hypotheſe und ließen eine andere, ſchon von Huyghens, einem Zeitgenoſſen Newton's, ums Jahr 1690 aufgeſtellte Hypotheſe, welche den Namen Vibrationshypotheſe führt, faſt unbeachtet.

Vibrationshypotheſe.

Nach dieſer Hypotheſe nehmlich entſteht das Licht durch die äußerſt feinen Erzitterungen der kleinſten Theile der leuchtenden Körper, und dieſe Erzitterungen, Schwingungen, werden durch eine ebenfalls äußerſt feine und überall verbreitete Materie, welche den Namen Aether erhalten hat, in ähnlicher Art wie die Schallwelle durch die Luft, fortgepflanzt.

Erſcheint auch dieſe Hypotheſe auf den erſten Blick in ſo fern minder einfach, als ſie die rein hypothetiſche Annahme des ſowohl die Poren der durchſichtigen Körper, als auch den Weltraum erfüllenden Aethers fordert, ſo hat dieſelbe doch durch neuere aſtronomiſche Beobachtungen eine empiriſche Stütze gewonnen, indem die von Encke an dem nach ihm benannten Kometen angeſtellten Beobachtungen ebenfalls für das Vorhandenſein einer ſehr feinen Materie im Weltraume ſprechen, welche der Bewegung der Himmelskörper einen geringen Widerſtand entgegenſetzt, welcher ſich darum am erſten und merklichſten an den Kometen herausſtellt, weil dieſe ſelbſt aus einer ſehr dünnen Materie beſtehen, während dieſer Widerſtand für die unvergleichlich dichteren Planeten vielleicht für immer unmerklich bleiben wird.

Beſonders aber haben ſeit dem Anfange dieſes Jahrhunderts Young, Fresnel, Frauenhofer und andere Phyſiker zahlreiche Erſcheinungen, welche der Emanationshypotheſe direct entgegenſtehen, kennen gelehrt und nachgewieſen, wie dieſelben in der Vibrationshypotheſe ihre volle und befriedigende Erklärung finden, ſo daß dieſe gegenwärtig allgemein von den Phyſikern angenommen wird.

Da wir ſpäter von den Erſcheinungen der Interferenz ausführlicher handeln werden, ſo wird für jetzt in Hinſicht der Beobachtungen Grimaldi's die Hinweiſung auf die analogen Erſcheinungen, welche wir zuletzt beim Schalle kennen gelernt und mit den Namen der Stöße bezeichnet haben, ausreichen. So wie wir dort geſehen haben, daß zwei Schallwellen ſich eben ſowohl verſtärken, als ſchwächen können, je nachdem die gleichen oder entgegengeſetzten Wellentheile zuſammentreffen, ſo wird daſſelbe auch in Hinſicht des Lichtes gelten können, wenn dieſes durch Schwingungen der kleinſten Theile der leuchtenden Körper erzeugt und wellenförmig im Aether fortgepflanzt wird.

Nachdem wir ſo unſern Leſern die Hypotheſe vorgeführt haben, auf welche wir die Erklärung der optiſchen Erſcheinungen ſtützen werden, gehen wir zu dieſen ſelbſt, alſo zu dem Thatſächlichen, über. In Hinſicht jener können wir irren; dieſes letztere können wir unſern Leſern, als durch die Erfahrung verbürgte Wahrheit, vortragen.

Schall und Licht.

Ehe wir hiermit beginnen, wollen wir jedoch noch vorher überſichtlich einige Hauptſätze der Vibrationshypotheſe für das Licht mit den analogen Sätzen aus der Lehre vom Schalle zuſammenſtellen.

Der Schall wird erregt, indem die tönenden Körper in ihren ganzen Ausdehnungen in Schwingungen gerathen, das Licht, indem die kleinſten Theile der Körper äußerſt feine Schwingungen machen.

Der Schall wird durch Wellen in der Luft, das Licht durch Wellen im Aether fortgepflanzt.

Der Schall durchläuft in der Secunde 1050 Fuß in der Luft, das Licht 42,000 Meilen im Aether.

Aus der ungleichen Zahl der Schallſchwingungen gehen Töne von ver-

Digitized by Google

schiedener Höhe hervor; aus der ungleichen Zahl der Lichtschwingungen entstehen die verschiedenen Farben. Die violette Farbe entspricht den höchsten, die rothe den tiefsten Tönen, das Weiße aber ist zu vergleichen einem vollen Accorde in der Musik.

Auf den tiefsten Ton kommen 7, auf den höchsten 24,000 Schwingungen, dem violetten Lichte kommen etwa 660 Billionen, dem rothen 450 Billionen Schwingungen in der Secunde zu.

Die Länge der Schallwellen in der Luft beträgt für den höchsten Ton ohngefähr einen halben Zoll, für den tiefsten 150 Fuß.

Die Länge der das violette Licht im Aether fortpflanzenden Wellen ist etwa dem 4000ten Theile, die Länge der Wellen des rothen Lichtes dem 2800ten Theile einer Pariser Linie gleich.

Die Lichtwellen unterscheiden sich also von den Schallwellen durch die unvergleichlich größere Schwingungszahl, durch die weit geringere Wellenlänge und durch die größere Geschwindigkeit, mit welcher sie im Aether fortschreiten. Während die Schwingungszahl des höchsten Tones die des tiefsten mehrere tausendmal übertrifft, ist die größte Schwingungszahl, welche dem violetten Lichte zukommt, nur etwa anderthalbmal so groß, als die kleinste Schwingungszahl des rothen Lichtes. Es finden also auch in diesem Verhältnisse beim Schalle viel gröbere Verschiedenheiten, beim Lichte viel feinere Unterschiede statt.

Unsere Leser werden uns mit Recht fragen, auf welche Thatsachen sich die hier vorläufig aufgeführten Angaben über die ungeheure Geschwindigkeit des Lichtes, die außerordentliche Feinheit der Wellen desselben und die enorme Größe der zugehörigen Schwingungszahlen stützen. Wir würden jedoch dem Folgenden vorgreifen, wollten wir schon jetzt auf die Beantwortung dieser Fragen eingehen; wir bemerken daher nur, daß wir im Verlaufe der folgenden Untersuchungen Gelegenheit finden werden, die obigen Angaben vollständig zu rechtfertigen.

Wir wenden uns nach den vorstehenden theoretischen Erörterungen zu den Erscheinungen selbst.

Selbstleuchtende Körper.

Wir unterscheiden bekanntlich *selbstleuchtende* Körper und *dunkele* Körper, welche uns nur durch das von anderen auf dieselbe fallende Licht sichtbar werden. Zwischen beiden findet jedoch, wie wir gleich weiter sehen werden, keine scharfe Scheidung, sondern ein allmähliger Uebergang statt. Das stärkste Licht, welches wir kennen, ist das Sonnenlicht, ferner das electrische Licht, von dessen Erregung weiter unten gehandelt werden wird, das *Drummond'sche* Kalklicht, welches von einem im Knallgasgebläse erglühenden Stückchen Kalkes ausstrahlt, das Licht des im Sauerstoffgase brennenden Phosphors. Beispiele sehr schwachen Lichtes bieten uns die Leuchtwürmchen und faulendes Holz dar.

Wenn dieses Licht wegen seiner geringen Intensität nur im Dunklen wahrgenommen wird, so gilt dasselbe noch weit mehr von dem Lichte gewisser Körper, welche man *phosphorescirende* nennt, weil sie die Eigenschaft besitzen, bei mäßiger Erwärmung, oder nachdem sie, wenn auch nur kurze Zeit, dem Lichte eines selbstleuchtenden Körpers, insbesondere dem Sonnenlichte ausgesetzt gewesen sind, ein äußerst schwaches Licht ausstrahlen, welches nur in einem vollkommen finstern Raume für unser durch kein anderes Licht gereiztes Auge wahrnehmbar wird. Dergleichen Körper sind Papier, Stärke, Mehl, ferner Kalkerde enthaltende Körper, wie Marmor, Gyps, Eierschalen,

Digitized by Google

Austerschalen u. dgl. m. In besonders ausgezeichnetem Maße aber zeigen diese Eigenschaft die sogenannten Bologneser Leuchtsteine, welche aus zerstoßenen, mit Eiweiß gemischten und demnächst ausgeglühten Schwerspath bestehen.

Das Licht aller dieser Phosphore ist jedoch, wie gesagt, so schwach, daß dasselbe unter gewöhnlichen Umständen ganz unbemerkt bleibt und erst, nachdem die gänzliche Finsterniß der Umgebung die Empfindlichkeit des Auges gesteigert hat, wahrgenommen wird. Da aber auch so die Empfindlichkeit unseres Auges doch nur eine beschränkte ist, so werden wir noch keineswegs behaupten dürfen, daß ein Körper, welcher, selbst in einem vollkommen finstern Raume, uns als dunkel erscheint, gar kein eigenes Licht ausstrahlt. Es bleibt immer möglich, daß von demselben ein schwaches Licht ausgeht, welches noch schwächer ist, als das der angeführten Phosphore und daher auch bei erhöhter Empfindlichkeit des Auges von demselben nicht wahrgenommen wird.

Durchsichtige Körper.

So wie wir hiernach zwischen selbstleuchtenden und dunklen Körpern keine scharfe Grenzlinie zu ziehen vermögen, so gilt dasselbe auch von den Körpern, welche wir durchsichtig und undurchsichtig nennen. Die einen sind nur mehr, die andern weniger durchsichtig. Es findet zwischen denselben kein absoluter Unterschied, sondern nur eine Verschiedenheit dem Grade nach statt. In hinreichend dünnen Schichten werden die undurchsichtigen Körper durchsichtig, die durchsichtigen aber zeigen sich in sehr dicken Lagen als undurchsichtig. Das im höchsten Grade undurchsichtige Gold ist in den dünnen Blättchen, zu welchen sich dasselbe austreiben läßt, durchsichtig. Weiße Gegenstände, durch die Goldblättchen gesehen, erscheinen in grünlichem Lichte; das Licht muß folglich, da es seine Farbe verändert hat, durch die Substanz des Goldes selbst seinen Weg genommen haben; es kann nicht etwa blos durch kleine Lücken in den dünnen Blättchen gegangen sein.

Zu den durchsichtigsten Körpern gehört ohnstreitig das Wasser; allein auch bei völlig ruhiger Oberfläche des Meeres vermögen wir, wenn dasselbe eine beträchtliche Tiefe hat, keine Gegenstände auf dem Meeresgrunde zu erkennen. Daß auch die Luft nicht vollkommen durchsichtig ist, zeigt uns die große Schwächung, welche die Strahlen der Sonne beim Auf- und Untergange erleiden. Wir müssen hiernach annehmen, daß, wenn die Dichte der Atmosphäre und ihre Höhe eine gewisse Grenze überstiege, auch die am hohen Mittage von der Sonne ausgehenden Strahlen in der Atmosphäre eine zu große Schwächung erleiden würden, um noch für unser Auge wahrnehmbar zu sein. — So wie daher kein ganz undurchsichtiger Körper existirt, so giebt es auch keinen vollkommen durchsichtigen Körper.

Geradlinige Fortpflanzung des Lichtes.

Das Licht pflanzt sich bekanntlich, so lange das Fortpflanzungsmittel dasselbe bleibt, in gerader Linie fort; befindet sich daher zwischen einem leuchtenden Gegenstande und unserm Auge ein undurchsichtiger Körper, so vermögen wir jenen nicht zu sehen. In dieser Hinsicht weichen also das Licht und der Schall von einander ab; die Wahrnehmung eines Tones wird nur geschwächt, aber nicht gänzlich aufgehoben, wenn in die zwischen unserm Ohre und den tönenden Körper zu ziehende gerade Linie ein für den Schall undurchdringlicher Körper tritt.

Man hat diese Verschiedenheit als einen Einwand gegen die Vibrationshypothese hervorgehoben; allein wir müssen hierauf zunächst erwidern, daß auch in den eigentlichen Schattenraum, wie wir weiter unten nachweisen werden, Lichtwellen eintreten, welche wir nur deshalb für gewöhnlich nicht wahrnehmen, weil sie den unmittelbar in grader Linie fortschreitenden Wellen

Digitized by Google

an Stärke weit nachstehen; ferner führen wir an, daß auch der Schall durch das Zwischentreten eines für denselben undurchdringlichen Körpers geschwächt wird, so daß also hier zwischen den Erscheinungen des Lichtes und den analogen des Schalles eigentlich keine absolute, sondern nur eine relative Verschiedenheit stattfindet; endlich weisen wir noch darauf hin, daß, wenn der Schall und das Licht beide durch Schwingungen entstehen, welche wellenförmig in der Luft oder im Aether fortgepflanzt werden, hieraus wohl Verwandtschaft, aber nicht vollständige Uebereinstimmung der Erscheinungen gefolgert werden kann.

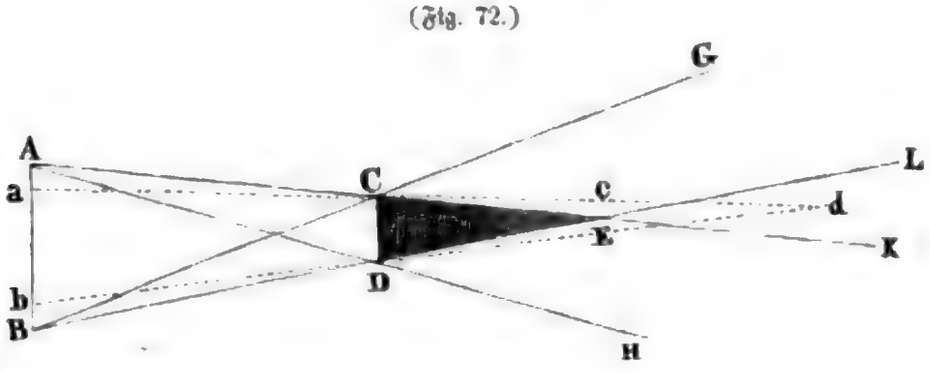
Abgesehen von der unvergleichlich größeren Feinheit und Schnelligkeit der Lichtwellen findet überdieß zwischen denselben und den Schallwellen noch ein specifischer Unterschied statt. Während nehmlich bei den Schallwellen, wie wir oben gesehen haben, die Lufttheilchen sich vorwärts und rückwärts, also in der Richtung des Radius der fortschreitenden Wellen bewegen, so nimmt man dagegen aus Gründen, welche wir weiter unten kennen lernen werden, an, daß sich bei der Ausbreitung der Lichtwellen im Aether die Aethertheilchen senkrecht auf den Radius, also gleichsam auf- und abwärts bewegen, wie dieß ja in der That bei den Wassertheilchen der Fall ist, wenn eine Welle über die Oberfläche des Wassers fortschreitet.

Die Richtung, in welcher die Wirkung des Lichtes eines leuchtenden Punktes sich fortpflanzt, nennen wir einen Lichtstrahl. Wir bedienen uns hier eines der Emanationshypothese entlehnten Ausdruckes; allein wir entlehnen derselben bloß das bequeme Wort, nicht den Begriff. Indem wir dieses nur in dem angegebenen Sinne gebrauchen, welcher in keiner Weise der Vibrationshypothese zu nahe tritt, begehen wir eben so wenig eine Inconsequenz, als wenn wir der Kürze wegen von dem Auf- und Untergange der Sonne sprechen, obschon wir denselben nur für scheinbar, nur für eine Folge der Axendrehung der Erde ansehen.

So lange wir also das Wort Lichtstrahl nur in dem Sinne, wie oben angegeben, gebrauchen, werden wir uns desselben ohne Nachtheil bedienen können. Demgemäß fahren wir weiter fort:

Schatten. Das von einem leuchtenden Körper ausgehende Licht verbreitet sich um denselben nach allen Richtungen hin. Wird von einem Raume durch das Zwischentreten eines undurchsichtigen Körpers das Licht abgehalten, so bezeichnen wir diesen Raum als Schatten. Ist z. B. AB, Fig. 72, der

(Fig. 72.)



Durchmesser der Sonne, CD der Durchmesser des Mondes, so werden von dem kegelförmigen Raume CDE die Sonnenstrahlen gänzlich abgehalten. Man nennt diesen Raum Kernschatten; dagegen führt der Raum zwischen CG und CK und zwischen DH und DL den Namen Halbschatten, indem in

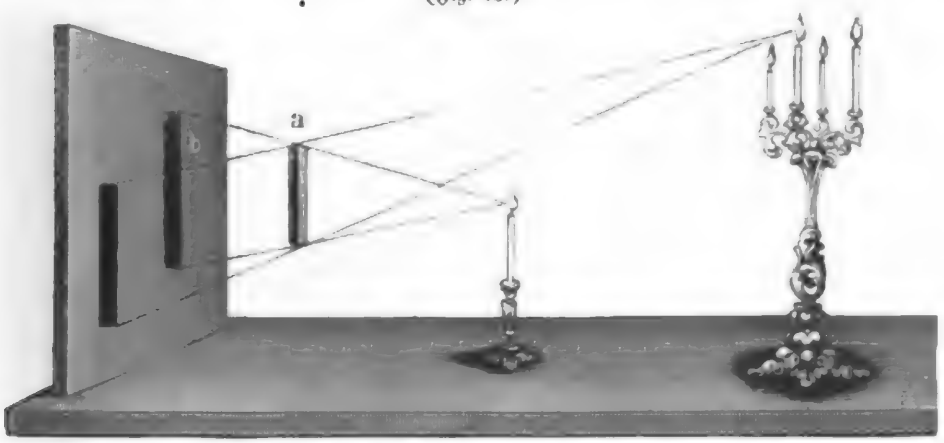
Digitized by Google

denſelben noch ein Theil der Sonnenſtrahlen gelangt. Ein innerhalb des Kernſchattens CDE befindliches Auge kann die Sonne gar nicht ſehen, wie dieß z. B. bei einer totalen Sonnenfinſterniß der Fall iſt. Befindet ſich dagegen ein Auge innerhalb des Halbſchattens, etwa bei c, ſo iſt demſelben noch ein Theil der Sonne Aa ſichtbar und nur der Anblick des Theiles aB entzogen. Es würde alſo dieſes Auge die Erſcheinung einer partialen Sonnenfinſterniß haben. Ein in dem kegelförmigen Raume LEK etwa bei d befindliches Auge, wird ſowohl den Punkt A als auch den Punkt B und die dieſem zunächſtliegenden Theile der Sonnenſcheibe noch ſehen können; dagegen wird für daſſelbe der mittlere Theil der Sonne ab unſichtbar ſein. Das Auge wird alſo den Rand der Sonne in Form eines Ringes, mit einem Worte eine ringförmige Sonnenfinſterniß erblicken.

Erleuchtung.

Je weiter ſich das von einem leuchtenden Körper ausgehende Licht verbreitet, um ſo mehr nimmt die Stärke deſſelben ab, und zwar geſchieht dieſe Abnahme in dem quadratiſchen Verhältniſſe der Entfernung; ein Licht leuchtet alſo in der doppelten, dreifachen, vierfachen Entfernung 4-, 9-, 16mal ſchwächer. Oder in der doppelten, dreifachen, vierfachen Entfernung ſind 4, 9, 16 Lichter erforderlich, um eben ſo ſtark zu leuchten, als ein Licht in der einfachen Entfernung. Man kann ſich hiervon leicht überzeugen, wenn man eine Kerze in einiger Entfernung von einer weißen Wand und in der doppelten Entfernung vier eben ſolche Kerzen ſo aufſtellt, daß die Schatten b und c, Fig. 73, welche die eine Kerze und die vier Kerzen von einem undurchſichtigen

(Fig. 73.)



Körper a auf die weiße Wand werfen, nahe neben einander fallen. Man wird dann finden, daß beide Schatten gleich dunkel erſcheinen, wenn der Abſtand der einen Kerze von der weißen Wand halb ſo groß iſt, als der Abſtand der vier Kerzen, daß dagegen der Schatten b mehr oder weniger dunkel als c erſcheint, wenn das eine Licht der weißen Wand genähert oder von derſelben entfernt wird, während die vier Kerzen an der nehmlichen Stelle bleiben.

Das eben Geſagte findet eine nützliche Anwendung in der Photometrie, d. h. in der Kunſt, die Stärke zweier Lichter, z. B. einer Gasflamme und einer Kerzenflamme zu vergleichen. Finden wir nehmlich, daß beide auf eine weiße Wand von einem undurchſichtigen Körper gleich dunkle Schatten werfen, wenn die Gasflamme von der weißen Wand doppelt ſo weit entfernt iſt, als die Kerzenflamme, ſo iſt die Lichtſtärke der erſteren viermal ſo groß,

als die der letztern. Ueberhaupt verhalten sich unter der angegebenen Bedingung die Lichtstärken zweier Flammen wie die Quadraten ihrer Entfernung von der weißen Wand.

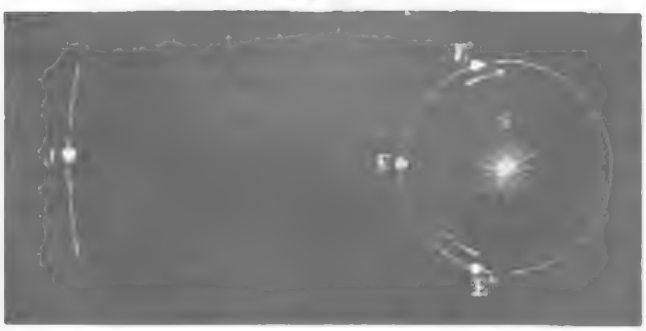
Indem wir annehmen, daß das Vorhergehende ausreichen wird, unsern Lesern die Möglichkeit photometrischer Abmessungen zu zeigen, übergehen wir die Beschreibung der für die größere Bequemlichkeit und Genauigkeit dieser Messungen erfundenen Apparate, und führen nur noch an, daß nach Wollaston das Licht der Sonne 5500mal so stark ist, als das Licht einer Kerze in ein Fuß Entfernung, und 800,000mal so stark, als das Licht des Vollmondes.

Ebenso erinnern wir nur kurz daran, daß bei senkrecht auffallenden Strahlen die Stärke der Erleuchtung am größten ist, und daß dieselbe um so mehr abnimmt, je schiefer die Strahlen auffallen.

Geschwindigkeit des Lichtes.

Dem Scharfsinne des dänischen Astronomen Römer verdanken wir die Kenntniß der Geschwindigkeit des Lichtes, welche derselbe (1675) aus den Beobachtungen der Trabanten des Jupiters ableitete. Die vier diesen größten aller Planeten umkreisenden Trabanten sind demselben so nahe, daß sie bei jedem Umlaufe durch den Schatten desselben hindurchgehen und also verfinstert werden. (Nur bei dem äußersten ist dieß nicht jedesmal der Fall.) Wegen der großen Entfernung des Jupiters von unserer Erde nehmen wir durch unsere Fernröhre den Eintritt einer Finsterniß nicht in dem nehmlichen Augenblick wahr, in welchem derselbe wirklich stattfindet, sondern so viel später, als das Licht Zeit gebraucht, den Weg von dem Trabanten des Jupiters zur Erde zu durchlaufen. Wir beobachten daher jede Verfinsterung der Jupitertrabanten etwas später, als dieselbe wirklich stattfindet. Wenn die Entfernung des Jupiters in der Zwischenzeit zwischen zwei auf einander folgenden Finsternissen sich nicht erheblich geändert hat, wie dieß z. B. der Fall ist, wenn die Erde sich zwischen der Sonne S, Fig. 74, und dem Jupiter J in E befindet, so wird die Verzögerung der Wahrnehmung beidemal gleich viel betragen und daher die Zwischenzeit zwischen den beobachteten Eintritten der Zwischenzeit zwischen den wirklichen Eintritten der Finsternisse gleich sein; hat dagegen die Entfernung des Jupiters von der Erde sich in der Zwischenzeit zwischen zwei auf einander folgenden Finsternissen vergrößert oder verkleinert, wie dieß z. B. der Fall ist, wenn die Erde in ihrer Bahn zu den Punkten E′ oder E″ gelangt ist, so wird im ersteren Falle die Zwischenzeit zwischen den beobachteten Eintritten um so viel zu groß, im andern um so viel zu klein ausfallen, als das Licht Zeit gebraucht, einen Weg von der Länge zu durchlaufen, um welche die Entfernung der Erde vom Jupiter sich in der Zwischenzeit vergrößert oder verkleinert hat.

(Fig. 74.)



Nun findet man z. B. für den nächsten Trabanten des Jupiters, daß, wenn die Erde sich in E befindet, die Zeit zwischen der Beobachtung einer

Finsterniß bis zur nächstfolgenden 42 Stunden 28 Minuten 28 Secunden, dagegen in E′ 14 Secunden mehr, in E″ 14 Secunden weniger beträgt. Wenn die Erde sich in E′ befindet, so vergrößert sich ihre Entfernung vom Jupiter in der angegebenen Zeit um 590,000 Meilen (ohngefähr), und sie vermindert sich um eben so viel, wenn die Erde sich in E″ befindet. Das Licht muß folglich 14 Secunden brauchen, um 590,000 Meilen zurückzulegen, woraus sich als die Geschwindigkeit des Lichtes für eine Secunde 42,000 Meilen ergeben.

Da die Sonne von der Erde ohngefähr 21 Millionen Meilen entfernt ist, so braucht hiernach das Licht 8 Minuten 13 Secunden, um von der Sonne zur Erde zu gelangen.

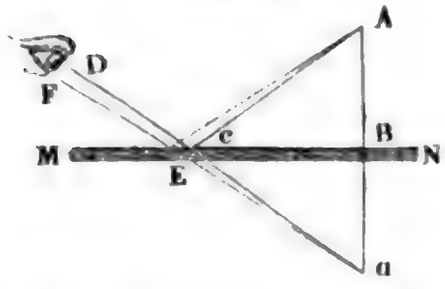
Zurückwerfung des Lichtes.

So wie in dem angeführten Beispiele der Jupiter und seine Trabanten uns nicht durch ihr eigenes Licht, sondern durch das Licht, welches von der Sonne auf dieselben fällt, sichtbar werden, so nehmen wir überhaupt nur wenige Körper, wie die Sonne, durch ihr eigenes Licht wahr; bei weitem die meisten Körper nehmen wir durch das Licht wahr, welches von selbstleuchtenden Körpern auf dieselben fällt und von ihnen nur zurückgeworfen wird. In Hinsicht dieses zurückgeworfenen Lichtes gilt das bekannte Gesetz, daß der reflectirte Strahl mit der reflectirenden Fläche denselben Winkel wie der einfallende bildet.

Spiegel.

Dieses Gesetz tritt am deutlichsten an glatten und polirten Flächen, welchen wir den Namen Spiegel geben, hervor. Bekanntlich erblicken wir in einem ebenen Spiegel von Gegenständen vor demselben Bilder, welche ebenso weit hinter dem Spiegel liegen, als die Gegenstände sich vor demselben befinden und mit den abgespiegelten Gegenständen in der Größe und Gestalt übereinstimmen. Diese Erscheinungen sind eine unmittelbare Folge des soeben ausgesprochenen Reflexionsgesetzes.

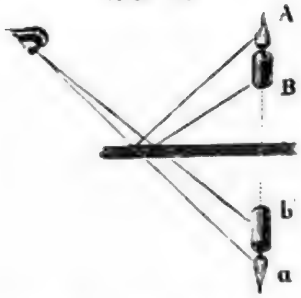
(Fig. 75.)



Denken wir uns nehmlich zunächst, es befinde sich vor dem Spiegel MN, Fig. 75, ein leuchtender Punkt A. Ein von demselben ausgehender und senkrecht auf den Spiegel fallender Strahl AB, welchem man den Namen Hauptstrahl giebt, wird vermöge des angeführten Gesetzes in sich selbst, ein schief auffallender Strahl AC in der Richtung CD so zurückgeworfen, daß Winkel ACN gleich DCM ist. Wenn wir daher den zurückgeworfenen Strahl CD verlängern, bis er die Verlängerung von AB in a schneidet, so ist auch Winkel aCB gleich ACB und folglich auch aB gleich AB, d. h. irgend ein schief auffallender und von dem Spiegel in der Richtung CD zurückgeworfener Strahl schneidet verlängert die Verlängerung des Hauptstrahls in einen Punkt a, welcher ebenso weit hinter dem Spiegel liegt, als der leuchtende Punkt selbst sich vor dem Spiegel befindet. Da alle reflectirten Strahlen dem nehmlichen Gesetze der Reflexion unterworfen sind, so wird auch jeder andere schiefe Strahl AE so zurückgeworfen, daß die Verlängerung des reflectirten Strahles EF durch den Punkt a geht. Die reflectirten Strahlen CD, EF u. s. w. haben also ganz die Richtung, als wenn sie von dem Punkte a hinter dem Spiegel ausgegangen wären, und ein von diesen Strahlen getroffenes Auge muß daher in a ein Bild des leuchtenden Punktes A erblicken.

Digitized by Google

(Fig. 76.)



Befindet sich vor dem Spiegel ein leuchtender Gegenstand AB, Fig. 76, so entsteht, wie wir eben gezeigt haben, von dem Punkte A in a und von dem Punkte B in b ein Bild hinter dem Spiegel in der nehmlichen Entfernung, in welcher diese Punkte vor dem Spiegel liegen, und da die Bilder der zwischen A und B liegenden Punkte offenbar zwischen a und b zu liegen kommen, so hat das aus diesen zusammengesetzte Bild ab ganz gleiche Größe und Gestalt mit dem Gegenstande AB und liegt ebenso weit hinter dem Spiegel, als dieser vor dem Spiegel.

Der Planspiegel, dessen Theorie wir hier entwickelt haben, findet nicht blos im gewöhnlichen Leben, sondern auch zu wissenschaftlichen Zwecken, ins Besondere bei optischen Instrumenten vielfache Anwendung, wovon wir weiter unten einige Beispiele kennen lernen werden.

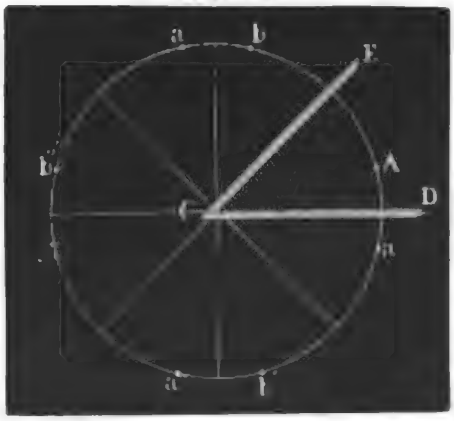
Man wendet für letztere Zwecke gewöhnlich Metallspiegel an, da die mit Zinnfolie belegten Glasspiegel doppelte Bilder geben, indem sowohl die vordere, als auch die hintere belegte Seite das Licht reflectirt. Wenn wir uns selbst in einem Spiegel besehen, so nehmen wir das doppelte Bild nicht wahr, weil das hintere Bild durch das vordere Bild bedeckt wird. Wenn wir uns aber seitwärts vor einen Spiegel stellen, so werden wir von einem an der vordern Seite befindlichen schmalen Gegenstande, z. B. einer Kerze, leicht zwei Bilder, vielleicht auch noch ein drittes und viertes erblicken. Letztere Bilder entstehen dadurch, daß das von der einen spiegelnden Fläche erzeugte Bild sich wieder in der andern abspiegelt.

Hängen wir zwei Spiegel einander parallel gegenüber auf, so entstehen von einem zwischen beiden befindlichen Gegenstande unzählige Bilder, denn jedes in dem einen entstandene Bild erzeugt wieder ein Bild in dem andern. Die spätern Bilder werden jedoch schwächer und schwächer und entziehen sich so allmälig der Wahrnehmung.

Winkelspiegel.

Wenn dagegen zwei sich zugewendete Spiegel einander nicht parallel sind, sondern einen Winkel bilden, so entstehen von einem zwischen denselben befindlichen Gegenstande zwar auch mehrere Bilder, aber nur in beschränkter Anzahl. Wenn z. B. zwei Spiegel CD und CE, Fig. 77, einen halben rechten Winkel einschließen und sich zwischen denselben ein leuchtender Gegenstand in A befindet, wenn wir ferner zur leichtern Construction der Lage der Bilder um C mit dem Abstande CA einen Kreis beschreiben und den zwischen CD und CE fallenden Bogen achtmal auf die ganze Peripherie des Kreises auftragen, so entsteht von dem zwischen den Spiegeln befindlichen Gegenstande A zunächst in dem Spiegel CD ein Bild in a; dieses erzeugt in dem Spiegel CE ein zweites Bild in a', dieses bildet sich wieder ab in dem Spiegel CD

(Fig. 77.)



und zwar in a″; das hier entstandene Bild gibt endlich noch in dem Spiegel CE ein Bild in a‴, welches sich aber nicht weiter in dem Spiegel CD abbilden kann, weil es hinter demselben liegt.

Weiter entsteht von dem Gegenstande A in dem Spiegel CE zunächst das Bild b, von diesem in dem Spiegel CD das Bild b′, ferner von diesem Bilde in dem Spiegel CE das Bild b″; endlich entsteht von b″ noch in dem Spiegel CD ein Bild in a‴, welches daher mit dem hier bereits vorhandenen Bilde zusammenfällt. Es erscheint also hiernach der Gegenstand in dem Winkelspiegel achtmal vervielfältigt in sternförmiger Gruppirung um den Mittelpunkt C.

Wir brauchen unsere Leser wohl nicht erst daran zu erinnern, daß in dem eben Vorgetragenen die Erklärung der Erscheinungen enthalten ist, welche der sogenannte Kaleidoskop darbietet. Wir bemerken nur noch, daß die Zahl der Bilder um so größer ausfällt, je kleiner der Winkel ist, welchen die Ebenen der beiden Spiegel einschließen. Man sieht nehmlich im Allgemeinen den Gegenstand so vielmal vervielfältigt, als die Zahl der Grade jenes Winkels in 360 Grad enthalten ist.

Unregelmäßige Reflexion.

Das Vorhergehende betraf die Reflexion des Lichtes von glatten, polirten Flächen, von Spiegeln, und die in denselben entstehenden Bilder von vor ihnen befindlichen Gegenständen. Allein das reflectirte Licht übt eine noch viel wichtigere und nützlichere Wirkung aus; es macht uns die Gegenstände selbst sichtbar, von denen es zurückgeworfen wird. Wir verdanken die Kenntniß fast sämmtlicher auf unserer Erde befindlichen Gegenstände nicht dem eigenen Lichte derselben, sondern lediglich dem reflectirten, dem Lichte, welches unmittelbar oder mittelbar von der Sonne auf dieselben fällt und von ihnen zurückgeworfen wird.

Wir haben oben angegeben, daß das Licht immer unter demselben Winkel von einer Fläche reflectirt wird, unter welchem es auffällt. Nehmen wir an, die Oberfläche eines Gegenstandes werde von den Sonnenstrahlen senkrecht getroffen, so werden dieselben auch senkrecht zurückgeworfen, und wenn die Sonnenstrahlen schief von einer Seite her auffallen, so werden sie schief nach der andern Seite reflectirt. Wie geht es denn nun zu, daß wir den Gegenstand nicht blos nach dieser Seite, sondern nach allen Seiten hin sehen können?

Wäre die Oberfläche der vom Sonnenlichte mittelbar oder unmittelbar getroffenen Körper vollkommen eben, so würden die in einer bestimmten Richtung auffallenden Sonnenstrahlen auch nur nach einer Richtung zurückgeworfen werden. Ein außerhalb dieser Richtung befindliches Auge würde von dem reflectirten Lichte gar nicht getroffen werden, und selbst ein in dieser Richtung befindliches Auge würde dennoch nicht die reflectirende Fläche, sondern das in derselben abgespiegelte blendende Bild der Sonne erblicken. Glücklicher Weise hat nun der Schöpfer der so mannigfaltig und schön geformten Körperwelt, welche wir auf unserer Erde antreffen, nicht glatte, sondern rauhe Oberflächen verliehen, welche an jeder Stelle mit den mannigfaltigsten Erhabenheiten und Vertiefungen versehen sind und daher auch das nur in einer Richtung auffallende Licht nach allen möglichen Richtungen zurückwerfen.

Man unterscheidet hiernach die regelmäßige Reflexion, durch welche in glatten spiegelnden Flächen Bilder der vor denselben befindlichen Gegenständen entstehen, und die unregelmäßige Reflexion, welche uns die reflectirende Fläche selbst sichtbar macht. Wunderbar, daß grade die

Digitized by Google

anscheinende Unregelmäßigkeit für uns zur wohlthätigsten Regel wird, durch welche wir zur Kenntniß der unendlichen Mannigfaltigkeit der uns umgebenden Körperwelt gelangen.

Morgen- und Abenddämmerung.

Der unregelmäßigen Reflexion verdanken wir auch die Erscheinung der Morgen- und Abenddämmerung. Wenn die Sonne nur wenig unter dem Horizont herabgesunken ist, erleuchten die Strahlen derselben noch die in den obern Luftschichten schwebenden Staubtheilchen, Dunstbläschen oder feinen Eisnadeln. Indem diese die auffallenden Sonnenstrahlen nach den untern Luftschichten und der Erdoberfläche reflectiren, veranlassen sie die Erscheinung der Dämmerung. Das Licht, welches auf die angegebene Art zur Erdoberfläche gelangt, ist natürlich um so schwächer, je tiefer die Sonne unter dem Horizonte steht; es wird unmerklich, wenn die Sonne tiefer, als 18^0 unter dem Horizonte steht. Da zur Zeit der längsten Sommertage in Deutschland (und in den noch nördlicher gelegenen Ländern) die Sonne nicht bis zu dieser Tiefe unter den Horizont herabgeht, so dauert in dieser Jahreszeit die Dämmerung die ganze Nacht hindurch. Sie ist am kürzesten in den Monaten März und Oktober und dauert dann (in Deutschland) nur etwa zwei Stunden.

Die Dämmerung ist in der Nähe des Aequators kürzer, als in höheren Breiten, weil am Aequator die Sonne in senkrechter Richtung unter den Horizont sinkt. Auch dürfte noch hierzu die Reinheit der Atmosphäre in den tropischen Gegenden beitragen.

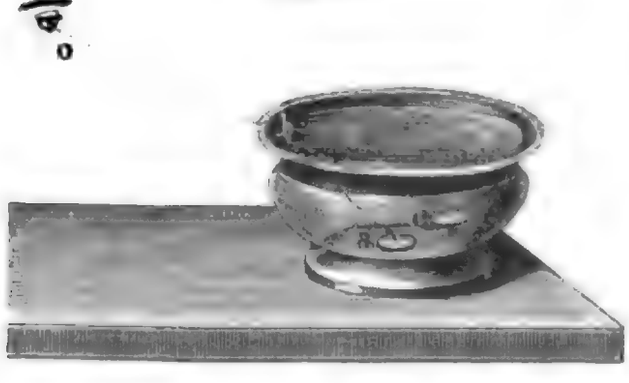
Brechung des Lichtes.

Die optischen Erscheinungen, welche wir bis jetzt unsern Lesern vorgeführt haben, stützen sich auf die zwei Sätze: Das Licht pflanzt sich in grader Linie fort und wird von der Oberfläche der Körper, auf welche es fällt, unter dem nehmlichen Winkel, unter welchem es auffällt, zurückgeworfen. Der erste dieser beiden Sätze erleidet jedoch eine Einschränkung, wenn das Licht aus einer durchsichtigen Materie in eine andere, z. B. aus Luft in Wasser oder Glas übergeht. Nur wenn das Licht auf das Wasser oder Glas senkrecht auffällt, behält es nach dem Eintritte in dasselbe die Richtung bei, welche es vorher in der Luft hatte. Bei schiefem Auffallen dagegen wird das Licht von der graden Linie abgelenkt, oder wie man sagt, gebrochen, ein Ausdruck, welcher davon entlehnt sein dürfte, daß ein schief ins Wasser gehaltener Stab gebrochen erscheint.

Ein anderer leicht anzustellender Versuch, welcher die Brechung des Lichtes, die Ablenkung desselben von der graden Linie zeigt, wenn das Licht aus einer durchsichtigen Substanz in eine andere übergeht, ist folgender:

Auf den Boden eines Gefäßes mit undurchsichtigen Wänden wird eine Münze gelegt; hierauf tritt der Beobachter so weit zurück, daß der oberste Rand des Gefäßes die Münze eben verdeckt; wird dann in das Gefäß Wasser gegossen, so wird die Münze dem Auge des Beobachters, ohne daß dieses seine Lage verändert hat, wieder sichtbar.

(Fig. 78.)



Ein von der Münze a, Fig. 78, ausgehender und die Oberfläche des Wassers in b in schiefer Richtung treffender Lichtstrahl ab wird nehmlich in

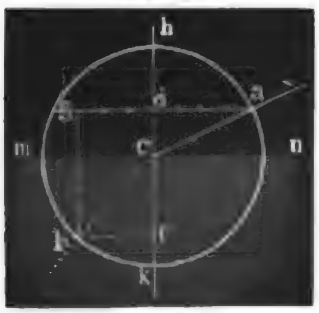
eine noch ſchiefere Richtung bO abgelenkt. Das in O befindliche Auge des Beobachters erblickt daher die Münze in der verlängerten Linie Ob, etwa in c, während daſſelbe die Münze a, ſo lange in dem Gefäße nicht Waſſer, ſondern Luft war, nicht wahrnehmen konnte, weil die gerade Linie aO den undurchſichtigen Rand des Gefäßes durchſchneidet.

So wie die unter dem Waſſer befindliche Münze a dem Auge in O nach c hin gehoben ſich zeigt, ſo gilt das nehmliche auch von allen Punkten des Bodens. Es erſcheint daher das mit Waſſer gefüllte Gefäß, und ebenſo erſcheinen Flüſſe und Teiche weniger tief, als ſie wirklich ſind; aus gleichen Gründen ſcheinen Fiſche und andere unter der Oberfläche des Waſſers befindliche Gegenſtände derſelben näher zu ſein, als ſie wirklich ſind; aus dem nehmlichen Grunde erſcheint der ins Waſſer ſchief gehaltene Stab gebrochen, weil nehmlich der im Waſſer befindliche Theil ſich nicht in ſeiner wahren Lage, ſondern höher herauf gerückt zeigt.

Das Brechungsgeſetz.

Ehe wir unſeren Leſern dasjenige Naturgeſetz vortragen, welchem die Brechung des Lichtes unterworfen iſt, haben wir noch zu bemerken, daß man gewöhnlich die durchſichtige Subſtanz, in welcher ſich das Licht fortbewegt, das Medium oder Mittel und eine Linie ſenkrecht auf die Fläche gezogen, in welcher ſich zwei verſchiedene Mittel, wie Luft und Waſſer, berühren, das Einfallsloth nennt. Iſt alſo über mn, Fig. 79, Luft, unter mn Waſſer, ac ein einfallender Lichtſtrahl in der Luft, cb der gebrochene Strahl im Waſſer, ſo iſt die ſenkrecht auf mn gezogene Linie hck das Einfallsloth. Dies vorausgeſchickt, können wir nun über die Brechung des Lichtes folgende Regeln aufſtellen:

(Fig. 79.)



Das ſenkrecht einfallende Licht geht allemal ungebrochen durch; ein in der Richtung des Einfallslothes ch einfallender Strahl geht alſo in der nehmlichen Richtung ck fort.

Das ſchief auffallende Licht dagegen wird von der graden Linie abgelenkt und zwar, wenn daſſelbe aus einem dünnern in ein dichteres Mittel übergeht, in der Regel zum Einfallslothe, dagegen vom Einfallslothe, wenn dieſer Uebergang aus einem dichteren in ein dünneres Mittel erfolgt, d. h. wenn z. B. ac der einfallende Strahl in der Luft und bc der gebrochene Strahl im Waſſer iſt, ſo fällt dieſer näher an das Einfallsloth hck, als jener. Wenn dagegen in b ſich ein leuchtender Punkt im Waſſer befindet, und ein von demſelben ausgehender Strahl bc die Oberfläche des Waſſers in c trifft, ſo weicht der in die Luft austretende gebrochene Strahl ac mehr von dem Einfallslothe ab, als der einfallende Strahl bc im Waſſer.

Die eben ausgeſprochene Regel, daß dichtere Körper das Licht ſtärker brechen, als weniger dichte, gilt unbedingt, wenn beide Körper aus der nehmlichen Materie beſtehen. Wenn das Licht z. B. aus dünnerer Luft in dichtere übergeht, ſo wird daſſelbe jedenfalls zum Einfallslothe gebrochen. Bei zwei verſchiedenen Subſtanzen kann man jedoch nicht mehr unbedingt behaupten, daß die dichtere auch das Licht allemal ſtärker bricht, als die weniger dichte. So ſind z. B. Spiritus und Terpentinöl bekanntlich leichter, als Waſſer, und doch brechen beide das Licht ſtärker als dieſes. Ueberhaupt brechen brennbare Körper das Licht ſtärker, als andere Körper von gleicher

Dichtigkeit. So bricht z. B. der Diamant das Licht so auffallend stark, daß Newton schon hieraus auf die Brennbarkeit desselben schloß.

Die Regel, nach welcher man, wenn die Lage des einfallenden Strahles ac gegeben ist, die Lage des gebrochenen Strahles finden kann, ist zuerst ums Jahr 1620 von einem holländischen Physiker Snellius entdeckt worden. Um diese Regel unseren Lesern bequemer, ohne Zuziehung mathematischer Begriffsbestimmungen, vortragen zu können, wollen wir von einem bestimmten Falle ausgehen und annehmen, daß der einfallende Strahl ac, Fig. 80, bei c aus Luft in Wasser übergeht. Man findet dann nach der Regel des Snellius den gebrochenen Strahl, wenn man um c mit einem beliebigen Radius ac einen Kreis beschreibt, aus dem Punkte a auf das Einfallsloth hk eine Senkrechte ad fällt, dieselbe in 4 gleiche Theile theilt und auf die über d fortgesetzte Verlängerung dieser Linie 3 solcher Theile aufträgt, ferner durch den Endpunkt g eine Parallele mit dem Einfallslothe zieht und endlich den Punkt b, in welchem diese den Kreis schneidet, mit c verbindet. Dann ist bc der zu dem Strahle ac in der Luft gehörige gebrochene Strahl im Wasser.

(Fig. 80.)

Die Zahl, welche das Verhältniß der Linien ad und dg angiebt und für Luft und Wasser (sehr nahe) gleich $^4/_3$ ist, wird der Brechungsexponent genannt. Diese Zahl ist für verschiedene durchsichtige Substanzen verschieden, z. B. für Luft und Glas ohngefähr $^3/_2$, für Luft und Diamant $^5/_2$ u. dgl. m.

Erklärung der Brechung.

Nach der Vibrationshypothese beruht die Brechung des Lichtes darauf, daß der Aether in den Poren verschiedener Körper eine ungleiche Dichte besitzt, und die das Licht fortpflanzenden Aetherwellen sich in demselben mit ungleicher Geschwindigkeit ausbreiten.

Eine nähere Begründung des Brechungsgesetzes nach dieser Hypothese würde uns jedoch hier zu weit führen. Wir bemerken nur noch, daß der Brechungsexponent für zwei Substanzen das Verhältniß der Geschwindigkeiten anzeigt, mit denen sich das Licht in denselben fortpflanzt. So ist z. B. der Brechungsexponent für den leeren Raum und Wasser ohngefähr gleich 4 zu 3; es muß sich folglich die Geschwindigkeit des Lichtes im leeren Raume zu der im Wasser wie 4 zu 3 verhalten. Nun durchläuft das Licht im leeren Raume, wie wir oben gesehen haben, 42,000 Meilen in der Secunde; es würde folglich im Wasser nur 31,500 Meilen in der Secunde zurücklegen.

Nach diesen theoretischen Erörterungen wenden wir uns zur Erklärung solcher Naturerscheinungen, welche auf der Brechung des Lichtes beruhen.

Atmosphärische Strahlenbrechung.

So lange die von einem leuchtenden Körper ausgehenden Lichtstrahlen der graden Linie folgen, zeigen sie einem von denselben getroffenen Auge den Gegenstand, von welchem sie ausgegangen sind, in der Richtung, in welcher sich derselbe wirklich befindet. Dieß ist jedoch nicht mehr der Fall, wenn das Licht auf seinem Wege bis zum Auge eine Ablenkung von der graden Linie, eine Brechung, erlitten hat. Das Auge erblickt den Gegenstand in der Richtung des gebrochenen Strahles, also in einer andern Richtung, als in welcher er wirklich anzutreffen ist, wie uns das schon oben angeführte

Digitized by Google

die Luft über einem geheizten Ofen erblickt, zu zittern. Das Funkeln oder Zittern ist beträchtlicher bei den Fixsternen, deren scheinbarer Durchmesser noch keine Secunde beträgt, als bei den scheinbar beträchtlich größeren Planeten; am Rande der Sonne und des Mondes aber ist dasselbe überhaupt nur durch stark vergrößernde Fernröhre wahrnehmbar.

Eine Folge sehr lebhafter Strömung dürfte die allerdings seltene, zuerst von Alexander von Humboldt 1790 auf Teneriffa, später auch von andern Beobachtern und an andern Orten wahrgenommene Erscheinung sein, daß Gestirne in der Nähe des Horizontes sich in einer schwankenden Bewegung zeigten.

So wie in Folge der Brechung der Lichtstrahlen in der Atmosphäre die Gestirne sich an höheren Orten zeigen, als sich dieselben wirklich befinden, so erfahren auch entfernte Gegenstände auf der Erde eine scheinbare Erhebung, indem die von denselben ausgehenden Lichtstrahlen durch Schichten der Atmosphäre von ungleicher Dichtigkeit hindurchgehen und in denselben eine Brechung erleiden. Man unterscheidet hiernach die astronomische und die irdische oder terrestrische Strahlenbrechung. Die letztere ist für entfernte Gegenstände im Allgemeinen beträchtlicher, als für nähere, weil die von den erstern ausgehenden Strahlen in der Atmosphäre einen weitern Weg zurücklegen.

Die astronomische Strahlenbrechung sowohl wie die terrestrische haben nicht beständig dieselbe Größe; sie hangen vielmehr von der Beschaffenheit der Atmosphäre, ins Besondere von der Dichtigkeit und dem Feuchtigkeitsgehalte derselben ab. Wenn die atmosphärische Strahlenbrechung sehr beträchtlich ist, so kann es geschehen, daß Gegenstände für einige Zeit sichtbar werden, von denen für gewöhnlich, da sie unter dem Horizonte liegen, keine Strahlen ins Auge des Beobachters gelangen können. So wird zuweilen bei Hastings an der Küste von England die ohngefähr 10 Meilen entfernte Küste von Frankreich sichtbar, obschon eine beide Küsten verbindende grade Linie die See durchschneiden würde.

Eben so sind wahrscheinlich die sogenannten Erscheinungen der Fata Morgana (Schlösser der Fee Morgana), welche besonders bei Reggio an der Küste Calabriens beobachtet werden, eine Folge einer ungewöhnlich starken Strahlenbrechung, welche für einige Zeit die Stadt Messina und ihre Umgebungen an der gegenüberstehenden Küste Siciliens sichtbar macht. Nach den zum Theil wohl auch durch die lebhafte Phantasie der Beobachter ausgeschmückten Erzählungen zeigen sich hier von Zeit zu Zeit prachtvolle Schlösser, eine Menge von Säulen, ganze Landschaften mit Cypressenhainen, weidende Heerden u. dgl. m., Gegenstände, welche jedoch nach kurzem Erscheinen bald wieder verschwinden.

Luftspiegelung.

Andere nicht minder wundervolle und ebenfalls auf dem Gesetze der Strahlenbrechung beruhende Erscheinungen bietet die Luftspiegelung dar, welche sich theils auf dem Meere, theils auf dem Lande in sehr weit ausgedehnten Ebenen zeigt.

Man erblickt nehmlich, besonders in sandigen Wüsten, an heißen, windstillen Tagen ferne Gegenstände, Häuser, Bäume, ja selbst ganze Landschaften gleichsam über den Horizont gehoben und von einer glänzenden spiegelnden Fläche, wie von einem Wasserspiegel, umgeben. Die Aehnlichkeit mit dem Wasser ist um so täuschender, da sich zugleich unter den Gegenständen das verkehrte Bild derselben zeigt. Nähert man sich aber dem Gegenstande, so

Digitized by Google

wird der scheinbare Wasserspiegel immer schmaler, bis derselbe endlich nebst dem verkehrt abgespiegelten Bilde gänzlich verschwindet. Diese Täuschung war für die französischen Soldaten während der Expedition nach Aegypten, wo sich die Erscheinung der Luftspiegelung besonders schön und häufig zeigt, um so schmerzlicher, als dieselben vielfach sehr empfindlichen Mangel an Wasser litten.

Auf der See erblickt man von fernen Gegenständen, z. B. von Schiffen, in Folge der Luftspiegelung nicht unter, sondern über denselben ein verkehrtes Bild.

Ehe wir auf die nähere Erklärung dieser Erscheinungen eingehen können, müssen wir noch einen Rückblick auf das oben vorgetragene Gesetz der Brechung werfen.

Totale Reflexion.

Halten wir uns auch jetzt an den schon dort erörterten Fall, daß ein Lichtstrahl aus Luft in Wasser übergeht, so zeigt uns, wenn ac, Fig. 82, der einfallende Strahl in der Luft ist, bc die Lage des gebrochenen Strahles im Wasser an. Erinnern wir uns an das Verfahren, nach welchem wir diesen oben gefunden haben, so ergiebt sich zwar sofort, daß mit dem Wachsthume des Einfallswinkels ach auch der Brechungswinkel bck zunimmt. Während jedoch der erstere bis zu 90^0 wachsen kann, vermag der letztere, weil das Licht beim Uebergange aus Luft in Wasser zum Einfallslothe gebrochen wird, diese Größe niemals zu erreichen; vielmehr kann derselbe eine gewisse Grenze nicht überschreiten. Wir finden diese Grenze, wenn wir, wie oben angegeben, cr, Fig. 83, in 4 gleiche Theile theilen, co gleich drei dieser Theile machen, op parallel hk ziehen und c mit p verbinden. Ein die Oberfläche des Wassers bei c äußerst schief und fast parallel mit derselben treffender Lichtstrahl wird in eine ganz nahe an cp fallende Richtung gebrochen, und **alle Strahlen, welche bei c die Oberfläche des Wassers treffen und zwischen cr und ch liegen, werden folglich zwischen cp und ck gebrochen; keiner der gebrochenen Strahlen kann zwischen cp und cs fallen.**

(Fig. 82.)

(Fig. 83.)

Dieser Grenzwinkel pck, welchen wir soeben construirt haben, beträgt für Luft und Wasser $48^1/_2$ Grad, also wenig mehr, als einen halben Rechten. Kein gebrochener Strahl im Wasser kann mit dem Einfallslothe einen größern Winkel, als $48^1/_2$ Grad bilden.

Denken wir uns umgekehrt einen leuchtenden Punkt im Wasser, so werden die von demselben ausgehenden Strahlen, wenn sie an die Oberfläche des Wassers gelangen und in die Luft austreten, vom Einfallslothe gebrochen, und ein Strahl, welcher im Wasser mit dem Einfallslothe einen

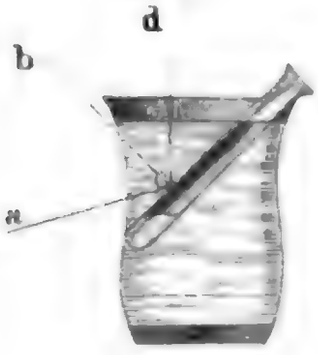
Digitized by Google

Winkel von beinahe $48^1/_2$ Grad bildet, wird nach der Brechung in der Luft von dem Einfallslothe beinah um 90 Grad abweichen, also der Oberfläche des Wassers fast parallel sein; ein Strahl aber, welcher im Wasser mit dem Einfallslothe einen größeren Winkel bildet, als $48^1/_2$ Grad, kann aus dem Wasser zu Folge des Brechungsgesetzes gar nicht austreten; ein solcher Strahl wird nicht gebrochen, sondern zurückgeworfen.

Wenn überhaupt Licht aus einem durchsichtigen Mittel in ein anderes übergeht, so wird allemal nur ein Theil desselben durchgelassen, ein anderer Theil zurückgeworfen. Weil aber das durchgelassene und das zurückgeworfene Licht zusammen niemals dem gesammten auffallenden Lichte gleich sind, so geht folglich noch ein dritter Theil verloren, oder wie man sagt, derselbe wird absorbirt. Je schiefer das Licht auf die Oberfläche eines durchsichtigen Körpers auffällt, um so größer ist der reflectirte und um so kleiner der absorbirte Theil; und wenn Licht in einem dichteren Mittel an die Grenzfläche gelangt, welche dieses von einem dünneren Mittel scheidet, so kann es geschehen, wie wir so eben gesehen haben, daß der durchgelassene Theil gänzlich verschwindet, und nur noch der reflectirte Theil übrig bleibt. Dieser Fall tritt dann ein, wenn der Einfallswinkel eine gewisse Grenze, für Wasser und Luft, wie wir gesehen haben, $48^1/_2{}^0$ überschreitet, und wird die totale Reflexion genannt.

Wenn man in ein gläsernes Röhrchen, ein sogenanntes Probierglaschen, welches unten geschlossen ist, etwas Wasser gießt, und dasselbe dann schief in ein Glas mit Wasser taucht, welches einem Fenster gegenüber aufgestellt ist, so erscheint einem auf das Röhrchen von Oben blickenden Auge der untere mit Wasser gefüllte Theil durchsichtig, der obere mit Luft gefüllte Theil dagegen undurchsichtig und stark glänzend, als wenn derselbe nicht Luft, sondern Quecksilber enthielte.

(Fig. 84.)



Ein in schiefer Richtung einfallender Lichtstrahl ac, Fig. 84, wird nehmlich bei c an der Grenzfläche des Gläschens und der Luft, wenn der Einfallswinkel acb die oben angegebenen Grenzen übersteigt, nicht durchgelassen, sondern erleidet die totale Reflexion und wird in der Richtung cd zurückgeworfen.

Ebenso erscheinen kleine Luftbläschen im Wasser in Folge der totalen Reflexion wie glänzende, fast undurchsichtige Perlen; auf gleiche Weise werden uns durch dieselbe Sprünge in Gläsern, überhaupt leere Räume in durchsichtigen Körpern sichtbar gemacht.

Auch die oben beschriebenen Erscheinungen der Luftspiegelung beruhen auf der totalen Reflexion. Wenn der trockne Sand der Wüste durch die am wolkenlosen Himmel bis nahe zum Zenith emporsteigende Sonne sich stark erhitzt hat, so lagern zunächst über dem heißen Boden wärmere Luftschichten, deren Temperatur die der höher liegenden Luftschichten um mehrere Grade übertreffen kann; und obschon diese wärmeren Luftschichten vermöge ihres geringeren specifischen Gewichtes in den kälteren Luftschichten allmählig emporsteigen, diese aber zu Boden sinken müssen, so findet doch bei windstiller Witterung diese Mischung nur äußerst langsam statt. Wenn nun von einem über die erwärmten Luftschichten hervorragenden Gegenstande ein Lichtstrahl ab, Fig. 85, auf dieselben in schiefer Richtung fällt, so wird derselbe, da er mit der An-

Digitized by Google

Fig. 1. Photograph of a spark discharge, by Lord Rayleigh, 1882. Reproduced by permission of the Royal Society.

räumen Luft enthalten. Ein Schneeball wird daher durchscheinend, wenn in die Poren desselben Wasser dringt, welches die Luft austreibt. Das Nehmliche geschieht bekanntlich auch bei Papier, wenn man dasselbe mit Oel tränkt.

Vielleicht beruht überhaupt die Verschiedenheit zwischen durchsichtigen und undurchsichtigen Körpern darauf, daß der Aether in den Poren der ersteren eine mehr gleichförmige, in den Poren der letzteren eine ungleichförmigere Dichtigkeit besitzt.

Die optischen Erscheinungen, welche wir bis jetzt kennen gelernt haben, betrafen die geradlinige Fortpflanzung, die Zurückwerfung und die Brechung des Lichtes. Zu Folge der Vibrationshypothese hat das Licht, sowohl in Hinsicht seiner Entstehung, als auch in Hinsicht seiner Fortpflanzung die größte Aehnlichkeit mit dem Schalle. Beide befolgen daher auch das nehmliche Gesetz der Zurückwerfung. Von der Brechung ist dagegen nur beim Lichte, aber gar nicht beim Schalle die Rede gewesen. Der Grund dieser Verschiedenheit ist einfach folgender: Der Schall pflanzt sich zwar in der geraden Linie am stärksten, aber nicht ausschließlich in dieser fort; durch das Zwischentreten eines Körpers zwischen unser Ohr und den schallenden Körper wird die Wahrnehmung des Schalles etwas, oft nur unmerklich geschwächt, keineswegs aufgehoben. Vermögen wir daher überhaupt nicht die geradlinige Fortpflanzung des Schalles auf dem Wege des Versuches nachzuweisen, so sind wir eben so wenig im Stande, eine Ablenkung von der geraden Linie, eine Brechung des Schalles, wahrnehmbar zu machen.

Einen Hauptgegenstand unserer Betrachtungen über den Schall bildete die Verschiedenheit der Töne; den verschiedenen Tönen in der Musik entsprechen, wie wir schon oben kurz erwähnt haben, die verschiedenen Farben des Lichtes. Die optischen Gesetze, welche wir bis jetzt kennen gelernt haben, betreffend die Fortpflanzung, die Zurückwerfung und die Brechung des Lichtes, gelten für alle Arten des Lichtes ohne Unterschied, eben so wohl für weißes, als farbiges, für rothes, grünes, blaues u. s. w. Wir wenden uns nun zu der Untersuchung, worauf die Verschiedenheit des farbigen Lichtes beruht, worin die verschiedenen Farben sich physikalisch von einander unterscheiden.

Optische Kammer.

Die gründliche Beantwortung dieser Frage verdanken wir den scharfsinnigen Untersuchungen, welche Newton ums Jahr 1666 angestellt hat. Ehe wir jedoch dieselben unseren Lesern näher beschreiben, haben wir sie noch vorher mit einer für optische Versuche mehrfach nützlichen Vorrichtung, mit der sogenannten optischen Kammer, bekannt zu machen. Diese besteht aus einem sorgfältig verfinsterten Zimmer, in welches nur durch eine feine Oeffnung, welche in einem übrigens dicht schließenden Laden angebracht ist, Licht eintreten kann. Befindet sich der Oeffnung O gegenüber ein leuchtender Gegenstand AB, Fig. 87, so treffen die vom Punkte A ausgehenden und durch die Öffnung in die

(Fig. 87.)

Digitized by Google

optische Kammer gelangenden Strahlen eine in dieser befindliche weiße Wand in a, die von B ausgehenden Strahlen aber in b. Indem nun ebenso die Strahlen der leuchtenden Punkte zwischen A und B die weiße Wand zwischen a und b treffen, entsteht auf derselben ein verkehrtes Bild ba des leuchtenden Gegenstandes AB. Dasselbe gilt natürlich für alle der Oeffnung im Laden gegenüber befindlichen Gegenstände. Diese sämmtlich, Häuser, Bäume, überhaupt die ganze Gegend, welche von dem Fenster aus, an welchem der Laden angebracht ist, überblickt werden kann, bildet sich in umgekehrter Lage auf der weißen Wand in der optischen Kammer ab.

Die hier entstehenden Bilder haben jedoch nur eine geringe Helligkeit. Um für die Wahrnehmung des schwachen Lichtes derselben die Empfindlichkeit des Auges zu erhöhen, muß alles andere Licht von der optischen Kammer sorgfältig abgehalten werden. — Die Helligkeit der Bilder in der optischen Kammer ist um so schwächer, je kleiner die in dem Laden angebrachte Oeffnung ist. Mit der Vergrößerung der Oeffnung wächst zwar die Helligkeit der Bilder, aber es vermindert sich dagegen die Deutlichkeit derselben; die Umrisse zeigen sich weniger scharf begrenzt, gleichsam verwaschen, indem die von einem Punkte des Gegenstandes ausgehenden Strahlen nicht blos wieder einen Punkt auf der weißen Wand treffen, sondern sich über eine kleine Fläche ausbreiten, und zwar über eine um so größere Fläche, je größer die Oeffnung im Laden ist.

Wird die Außenseite des Ladens, in welcher sich die Oeffnung befindet, von der Sonne beschienen, so erhält man auf einem weißen Schirme, welchen man in der optischen Kammer der Oeffnung gegenüber aufgestellt, ein rundliches Bild der Sonne. Man sieht dergleichen Bilder auch häufig auf dem Fußboden entstehen, wenn in einem von der Sonne beschienenen Zimmer die Laden geschlossen werden und sich in diesen zufällig kleine Oeffnungen befinden. Auch unter schattigen Bäumen zeigen sich häufig dergleichen Sonnenbilder, welche durch die Sonnenstrahlen hervorgebracht werden, die durch die zwischen den Blättern zufällig vorhandenen Lücken hindurchgehen.

Diese Bilder haben, wie aus der obigen Darstellung hervorgeht, allemal, die Oeffnung mag nun rund, dreieckig sein oder was immer für eine Gestalt haben, eine dem abgebildeten Gegenstande ähnliche Gestalt. Die Sonnenbilder fallen daher unter allen Umständen rundlich aus; sie können jedoch nur dann eine vollkommen kreisförmige Gestalt haben, wenn der in die optische Kammer durch die enge Oeffnung eintretende Strahlenkegel von dem auffangenden Schirme senkrecht durchschnitten wird; sie gestalten sich dagegen länglich-rund, elliptisch, wenn der Schirm gegen die Axe des einfallenden Strahlenkegels eine schiefe Lage hat.

Farbiges Licht.

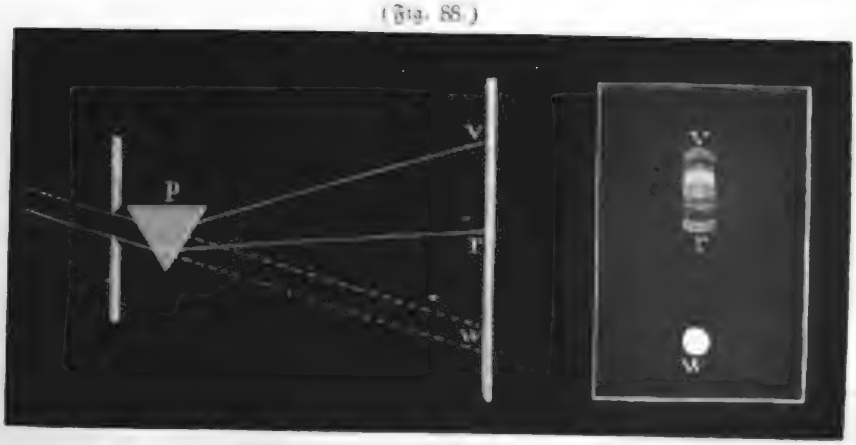
Nach dieser Einleitung wenden wir uns zu den von Newton angestellten Versuchen:

Wenn man die durch eine feine Oeffnung in die optische Kammer eintretenden Sonnenstrahlen durch ein dreifüßiges Prisma p, von klarem reinem Glase, dessen brechender Winkel nach unten gekehrt ist, hindurchgehen läßt, so zeigt das Sonnenbild, welches man auf einem weißen, den Strahlenkegel senkrecht durchschneidenden Schirme erhält, von dem gewöhnlichen Sonnenbilde, wie es ohne Prisma erhalten wird, folgende auffallende Verschiedenheiten:

1) Das Sonnenbild erscheint nicht an der gewöhnlichen Stelle in w, Fig. 88, sondern beträchtlich in die Höhe gerückt in vr.

Digitized by Google

(Fig. 88.)



(Fig. 89.)

2) Dasselbe ist nicht kreisförmig, sondern länglich, oben und unten von zwei Bogen, an den Seiten von geraden Linien begrenzt.

3) Es ist nicht weiß, sondern aufs lebhafteste und prachtvollste gefärbt, und zwar unterscheidet man an demselben ganz die nehmlichen Farben wie an dem Regenbogen, nehmlich von unten nach oben: Roth, Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo, Violett.

Die nach größerem Maaßstabe ausgeführte Fig. 89 wird hiervon eine ohngefähre Vorstellung geben.

Die Farben sind nicht scharf gegen einander abgegrenzt, sondern gehen allmählich durch Zwischenfarben in einander über, so daß die Zahl der überhaupt in dem Farbenbilde, Spectrum, zu unterscheidenden Farben sich nicht wohl feststellen läßt, jedenfalls aber die der oben angegebenen sieben Hauptfarben, welche Newton nach Analogie der sieben Töne in der Musik hervorhob, weit übersteigt.

Aus diesen Versuchen schließen wir mit Newton: das weiße Licht ist nicht einfach, sondern aus unzähligen farbigen Strahlen zusammengesetzt, welche vereinigt den Eindruck des Weißen hervorbringen. — Zur Bestätigung dieser letztern Behauptung kann auch noch folgender Versuch dienen: Wenn man die durch das Prisma hindurch gegangenen und von einan der getrennten farbigen Strahlen durch eine Sammellinse, ein Brennglas, wieder vereinigt, so geben dieselben wieder Weiß.

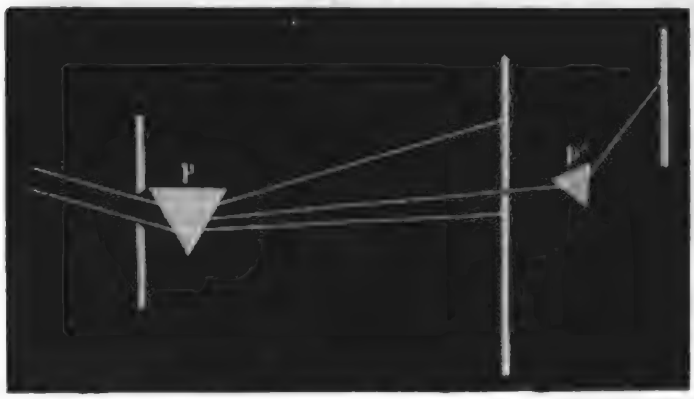
Die verschiedenfarbigen Strahlen unterscheiden sich von einander durch ihre verschiedene **Brechbarkeit, und zwar sind die violetten**

Bayerische Staatsbibliothek

die am stärksten, die rothen die am schwächsten brechbaren Strahlen. Indem diese Strahlen im weißen Lichte vereinigt und parallel auf das Prisma fallen, werden sie sämmtlich gebrochen; indem aber die stärker brechbaren (violetten) Strahlen mehr, die schwächer brechbaren (rothen) Strahlen weniger von der geraden Linie durch die Brechung im Prisma abgelenkt werden, können sie nicht mehr nach derselben parallelen Richtung, sondern sie müssen nach verschiedenen divergirenden Richtungen aus dem Prisma austreten.

Wenn man in dem Schirm, welcher die verschiedenfarbigen Strahlen auffängt, nachdem sie durch das Prisma p, Fig. 90, hindurchgegangen und gebrochen worden sind, eine feine Oeffnung anbringt, welche nur eine Strahlengattung, z. B. rothes oder violettes Licht durchläßt, und die hindurchgegangenen einfarbigen Strahlen auf ein zweites Prisma p' fallen läßt, so werden diese Strahlen aufs Neue gebrochen, behalten aber ihre Farbe unverändert bei. Die violetten oder die diesen benachbarten Strahlen, welche wir bereits als stärker brechbar kennen gelernt haben, erfahren auch durch das zweite Prisma eine größere Ablenkung, als die rothen oder die diesen näher liegenden Strahlen.

(Fig. 90.)



Weiter unten werden wir sehen, daß die violetten Strahlen diejenigen sind, welchen die größte, die rothen diejenigen, welchen die kleinste Vibrationsgeschwindigkeit zukommt. Indem dieselben aus einem schwächer in ein stärker brechendes Medium, aus Luft in Glas oder Wasser, übergehen, vermindert sich ihre Fortpflanzungsgeschwindigkeit in dem Verhältniß, welches der Brechungsexponent anzeigt, und zugleich erleiden sie eine demselben entsprechende Ablenkung von der graden Linie. Diese Verminderung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit ist nun beträchtlicher bei den rascher schwingenden violetten, als bei den langsamer schwingenden rothen Strahlen; demgemäß werden auch die ersteren mehr, die letzteren weniger von der geraden Linie abgelenkt oder gebrochen.

Fassen wir die gewonnenen Resultate kurz zusammen: — So wie die hohen und niedrigen Töne sich durch die ungleiche Größe ihrer Schwingungszahlen unterscheiden, so kommen auch den verschiedenfarbigen Strahlen verschiedene Schwingungszahlen zu. Die Schwingungszahl ist am größten bei den violetten, am kleinsten bei den rothen Strahlen; sie beträgt für jene ohngefähr 450, für diese 660 Billionen in der Secunde. Wenn diese ungeheuren Zahlen unsere Leser fürs Erste in Erstaunen setzen sollten, so bemerken wir, daß wir dieselben später mit voller Deutlichkeit rechtfertigen werden. Auch ist die absolute Größe dieser Zahlen für die jetzige Betrachtung unwesentlich; wir haben dieselben nur um größerer Bestimmtheit willen vorläufig hier angeführt. — Wir fahren nach dieser Einschaltung weiter fort:

Digitized by Google

Zwischen den Schwingungszahlen der violetten und rothen Strahlen, als den äußersten Grenzen, liegen die der übrigen Farben. Gelangen aber diese verschiedenfarbigen Strahlen zugleich und im richtigen Verhältnisse ins Auge, so entsteht die Empfindung des Weißen, da, wie wir ja oben gesehen haben, alle verschiedenfarbigen Strahlen des Spectrums vereinigt, wieder Weiß geben.

An diesen schon oben angeführten Versuch reiht sich die nahe liegende Frage, was hervorgeht, wenn nicht alle, sondern nur einige farbige Strahlen des Spectrums vereinigt, andere von der Vereinigung ausgeschlossen werden. Man erhält dann nicht Weiß, sondern irgend eine bestimmte Farbe. Vereinigt man z. B. alle Strahlen mit Ausnahme der rothen, so bekommt man Grün, und umgekehrt wird Roth erhalten, wenn man von der Vereinigung die grünen Strahlen ausschließt. Man nennt Farben, welche sich wie Grün und Roth in dem angeführten Beispiele verhalten, complementäre Farben. Dergleichen sind ferner Orange und Blau, Gelb und Violett.

Es geht aber aus diesen Versuchen die wichtige Folgerung hervor, daß die Empfindung einer bestimmten Farbe auf zweierlei Weise, sowohl durch eine einzige bestimmte Strahlengattung, als auch durch das Zusammenwirken mehrerer Strahlengattungen hervorgebracht werden kann.

Wenden wir nun weiter das Vorhergehende auf die Farben an, in denen sich uns die uns umgebenden Körper zeigen. Die wenigsten sehen wir durch das eigne Licht derselben; die meisten nehmen wir durch reflectirtes Licht wahr, welches von leuchtenden Körpern, am gewöhnlichsten von der Sonne, mittelbar oder unmittelbar auf dieselben gelangt. Da das Sonnenlicht weiß ist, in demselben alle möglichen farbigen Strahlen enthalten sind, so ist sofort einleuchtend, daß ein Körper weiß erscheinen wird, wenn er alle auffallenden, im weißen Sonnenlichte enthaltenen farbigen Strahlen in gleichem Verhältniß zurückwirft.

Daß ein Körper sich uns mit einer bestimmten Farbe, z. B. roth zeigt, kann auf zweierlei Weise geschehen, entweder indem derselbe von den verschiedenfarbigen Strahlen des auffallenden weißen Tageslichtes nur die rothen reflectirt und alle andern gänzlich absorbirt, oder indem er die rothen überwiegend reflectirt, die übrigen aber, besonders die complementären grünen in stärkerem Verhältniß absorbirt. Nur der letztere Fall kommt in der Natur wirklich vor; die Farben, mit denen sich uns die Körper zeigen, sind niemals einfache, sondern immer mehr oder weniger zusammengesetzte, wie man sich leicht überzeugen kann, wenn man die farbigen Körper durch ein Prisma betrachtet; eine einfache Farbe durch dieses betrachtet, würde unverändert bleiben; eine zusammengesetzte dagegen, wird in die verschiedenen Farben, aus denen sie besteht, zerlegt.

Wir nennen einen Körper schwarz, wenn derselbe von dem auffallenden Lichte nur sehr wenig reflectirt; vollkommen schwarz würde ein Körper sein, der gar kein Licht reflectirte. Ein solcher kommt ebenfalls in der Natur nicht vor.

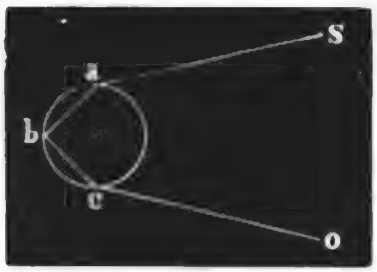
Das oben Gesagte betraf die Farben, mit denen die Körper sich uns dauernd zeigen. Die Natur bietet uns aber auch mannigfaltige vorübergehende Farbenerscheinungen dar; unter diesen ist ohnstreitig der Regenbogen die prachtvollste. Wir haben die Farben desselben daher oben mit denen des prismatischen Farbenbildes verglichen, und in der That ist zwischen denselben eine Uebereinstimmung, welche auf einen gleichen Ursprung, also darauf hinweist, daß die Sonnenstrahlen in den Regentropfen in ähnlicher Art, wie im Prisma, eine Brechung erleiden. Weil aber der Regenbogen

Der Regenbogen.

Digitized by Google

sich allemal der Sonne gegenüber zeigt, so können die Strahlen der Sonne nicht blos eine Brechung, sondern sie müssen, um von den Regentropfen in unser Auge zu gelangen, auch eine Zurückwerfung erfahren haben. Aus dieser Ueberlegung ergiebt sich für dieselben folgender Gang:

(Fig. 91.)

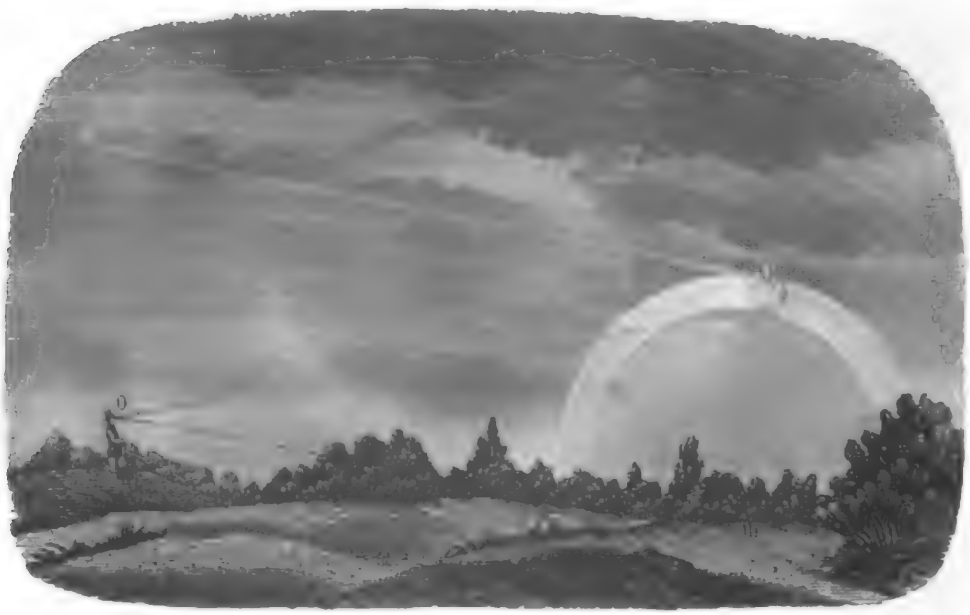


Ein von der Sonne kommender Strahl sa, Fig. 91, trifft den in vergrößertem Maße abgebildeten Regentropfen in a, wird hier zum Einfallslothe in der Richtung ab gebrochen, an der Rückseite des Tropfens bei b nach innen in der Richtung bc reflectirt und bei c nochmals, aber vom Einfallslothe in der Richtung co gebrochen. Befindet sich daher in o ein Auge, so hat der in dasselbe gelangende Strahl co in dem Regentropfen eine zweimalige Brechung und eine einmalige Zurückwerfung erfahren.

Indem aber die das weiße Sonnenlicht zusammensetzenden und in paralleler Richtung auf den Regentropfen auffallenden verschiedenfarbigen Strahlen eine ungleiche Brechbarkeit besitzen, treten dieselben nach der Brechung, welche sie bei ihrem Durchgange durch den Regentropfen erfahren haben, nicht nach parallelen, sondern nach verschiedenen Richtungen aus demselben aus; die rothen, gelben, grünen, blauen Strahlen verlassen den Regentropfen nach divergirenden Richtungen. Auf diese Art geschieht es, daß von dem nehmlichen Regentropfen nicht alle Strahlengattungen in gleichem Verhältnisse, sondern von gewissen Tropfen, vorzugsweise rothe, von andern überwiegend gelbe Strahlen u. s. w. in das Auge des Beobachters gelangen.

Das Vorstehende wird vielleicht hinreichen, unsern Lesern die Möglichkeit der Entstehung der Farbenerscheinung des Regenbogens zu zeigen; eine ganz gründliche Theorie würde die Kenntniß der höhern Mathematik erfordern. Daß aber die Regentropfen r, Fig 92, welche eine gleiche Strahlengattung

(Fig. 92.)



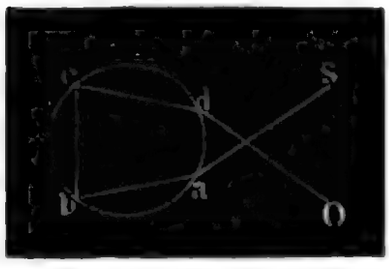
Digitized by Google

ins Auge o senden, auf einem Kreisbogen liegen müssen, welcher seinen Mittelpunkt m in der Verlängerung einer durch die Sonne und das Auge des Beobachters gezogenen Linie hat, geht leicht daraus hervor, daß diese Tropfen eine ganz gleiche Lage gegen das Auge o und die Sonne s haben, also genau den nehmlichen Bedingungen unterworfen sind, so daß in Beziehung auf den Eintritt und Austritt der Sonnenstrahlen, in Beziehung auf Brechung und Farbenzerstreuung von dem einen genau dasselbe wie von dem andern gelten muß.

Da der Mittelpunkt des Regenbogens allemal in der Verlängerung einer Linie liegt, welche wir uns von der Sonne durch das Auge des Beobachters gezogen denken, so muß derselbe um so tiefer unter den Horizont zu liegen kommen, je höher die Sonne am Himmel steht; einen um so kleinern Theil eines ganzen Kreises muß daher auch der über den Horizont fallende Regenbogen bilden. Derselbe wird ganz unter den Horizont fallen, oder mit anderen Worten: er kommt gar nicht zu Stande, wenn die Höhe der Sonne eine gewisse Grenze (42°) übersteigt. In den Sommermonaten, in denen die Sonne ihre größte Höhe erreicht, kann sich daher ein Regenbogen nur in den früheren Morgen- und in den späteren Nachmittagsstunden zeigen. Der Regenbogen wird am größten, nehmlich ein Halbkreis, wenn die Sonne am Horizonte steht, also entweder beim Auf- oder beim Untergange der Sonne.

Zuweilen bemerkt man über dem Hauptregenbogen noch einen schwächeren, Nebenregenbogen, mit umgekehrter Anordnung der Farben. Derselbe hat eine ähnliche Entstehung wie der Hauptregenbogen; die den Nebenregenbogen erzeugenden Strahlen haben jedoch den in Fig. 93 abgebildeten Gang. sa zeigt die Richtung des einfallenden Sonnenstrahles, do die Richtung des ins Auge gelangenden austretenden Strahles, abcd aber den Weg des Lichtstrahles im Regentropfen an.

(Fig. 93.)



Andere optische Erscheinungen in der Atmosphäre, deren Erklärung wir hier anreihen, sind die Morgen- und Abendröthe und die blaue Farbe des Himmels. Daß der wolkenlose Himmel uns blau erscheint, daß ebenso sehr ferne Gegenstände, z. B. entfernte Gebirge eine blaue Färbung zeigen, beweist uns, daß die Luft nicht farblos ist, d. h. daß sie nicht alle Strahlen in gleichem Verhältnisse, sondern eine gewisse Strahlengattung, nehmlich die blauen Strahlen in stärkerem Verhältnisse als die übrigen sowohl hindurchläßt, als reflectirt. Der Himmel erscheint um so tiefer blau, je freier die Luft von Staubtheilchen und Dunstbläschen ist, sind diese in der Luft in größerer Menge vorhanden, so geben sie dem Himmel ein graues Ansehen. Der Himmel zeigt daher ein besonders schönes Blau nach einem Regen, welcher die in der Luft schwebenden Staubtheilchen oder Dunstbläschen niederschlägt.

Die blaue Farbe des Himmels.

So alltäglich die Erscheinungen der Abend- und Morgenröthe sind, so hat doch erst in neuerer Zeit der Engländer Forbes für dieselben eine befriedigende Erklärung gegeben. Forbes bemerkte nehmlich, daß die Sonne durch die Dampfsäule, welche aus dem Sicherheitsventile einer Dampfmaschine ausströmte, ganz nahe über diesem Ventile gesehen, eine tief orangerothe Färbung zeigte, und daß also die Dämpfe an dieser Stelle überwiegend die

Morgen- und Abendröthe.

Digitized by Google

rothen und gelben Strahlen hindurchlassen. In größerer Höhe, da wo der Dampf sich bereits zu Dunstbläschen verdichtet hat, zeigt sich derselbe in geringerer Menge durchscheinend; er verschluckt einen großen Theil des auffallenden Lichtes und läßt nur einen geringen Theil hindurch, aber nach einem gleichen Verhältnisse für sämmtliche Farbengattungen; es erscheint daher die Sonne durch denselben gesehen blaß, aber weiß; in größerer Menge dagegen zeigt sich der verdichtete Dampf fast undurchsichtig.

Aus diesen Beobachtungen folgt, daß der aus dem Sicherheitsventile austretende Dampf, welcher im vollkommen gasförmigen Zustande im höchsten Grade durchsichtig und farblos ist, ehe er sich zu den fast undurchsichtigen Dunstbläschen verdichtet, durch einen Uebergangszustand hindurchgeht, in welchem er vorzugsweise die rothen und orangen Strahlen durchläßt.

Durch diesen Uebergangszustand des in der Atmosphäre enthaltenen Wasserdampfes werden auch die Erscheinungen der Morgen- und Abendröthe hervorgerufen. Indem nehmlich am Abende mit dem Sinken der Sonne die Temperatur der Atmosphäre sich vermindert, verringert sich auch ihre Capacität für die in ihr enthaltenen Dämpfe; dieselben schlagen sich theils geradezu als Thautropfen nieder, theils gelangen sie nur in dem angeführten Uebergangszustand, in welchem sie vorzugsweise die rothen und gelben Sonnenstrahlen durchlassen.

Dieselbe Erscheinung wiederholt sich, nur in umgekehrter Folge, am Morgen, wenn mit dem Emporsteigen der Sonne zugleich die Lufttemperatur sich erhöht und der in der Nacht gefallene Thau durch den mehr erwähnten Uebergangszustand hindurchgehend sich in vollkommen durchsichtigen Dampf verwandelt. Da dieser Uebergang am Morgen erst dann, wenn die Sonne bereits eine größere Höhe erlangt hat, und also ihre Strahlen einen verhältnißmäßig kürzeren Weg in der Atmosphäre zurücklegen, am Abende aber dann eintritt, wenn die Sonne sich in der Nähe des Horizontes befindet, so erklärt sich hieraus, warum die Abendröthe sich mehrentheils prachtvoller als die Morgenröthe zeigt.

Ein sehr starkes Morgenroth würde einen großen Feuchtigkeitsgehalt der Atmosphäre anzeigen und wird daher mit Recht als ein Anzeichen bevorstehenden Regenwetters angesehen. Dagegen wird nach dem Obigen ein lebhaftes Abendroth sich schon bei mäßigem oder geringem Feuchtigkeitsgehalt der Atmosphäre zeigen; nur ein übermäßiges Abendroth, wie es zuweilen sich beinahe über den ganzen Himmel ausbreitet, wird auf einen größeren Feuchtigkeitsgehalt der Luft hinweisen. Wenn aber die Luft so stark mit Dämpfen geschwängert ist, daß bei dem Niedergange der Sonne dieselben bereits jenen Uebergangszustand überschritten und sich schon zum großen Theile in Dunstbläschen verwandelt haben, so wird sich nur ein sehr schwaches Abendroth zeigen können.

Das Erscheinen eines lebhaften, aber nicht übermäßig starken Abendrothes, verbunden mit der dunkelrothen, glanzlosen Färbung der Sonnenscheibe, wird daher mit Recht als ein Anzeichen bevorstehender trockener Witterung angesehen, indem dasselbe einen geringen oder nur mäßigen Feuchtigkeitsgehalt der Atmosphäre bekundet.

Die bisher besprochenen Farbenerscheinungen beruhten vorzugsweise auf der ungleichen Brechbarkeit der das weiße Licht zusammensetzenden verschiedenfarbigen Strahlen. Die Farbenerscheinungen dagegen, welche wir nun weiter erörtern wollen, gehen dadurch hervor, daß beim Zusammentreffen zweier

Digitized by Google

weißes Licht bildenden Wellensysteme, d. h. zweier Wellensysteme, in denen sämmtliche den verschiedenen Farben entsprechende Lichtwellen enthalten sind, nach dem Principe der Interferenz die Wellen einiger Farben sich schwächen, anderer dagegen sich verstärken und so in einem Auge, welches sie treffen, den Eindruck einer bestimmten Farbe hervorrufen. Indem diese Erscheinungen nur in der Vibrationshypothese ihre Erklärung finden, haben sie ganz besonders Veranlassung zur Ausbildung und Verbreitung dieser Hypothese gegeben.

Farben dünner Blättchen.

Wir führen in dieser Hinsicht zuerst die schönen Farben der Seifenblasen an, welche eben wegen des bunten Farbenspieles den Kindern eine beliebte Unterhaltung gewähren. Unsere Leser erinnern sich ohne Zweifel, daß die Farben der Seifenblasen fortwährend wechseln, wenn bei fortgesetztem Blasen der Durchmesser der Blase größer, also das dieselbe einhüllende Wasserhäutchen dünner wird. Daß dieser letzte Umstand die Ursache des Farbenwechsels ist, bestätigt auch der folgende Versuch:

Wenn man auf die Oberfläche des Wassers in einem Glase, welches man einem Fenster gegenüber aufgestellt hat, so daß sich in dem Wasser die Wolken und der Himmel abspiegeln, einen Tropfen Terpentinöl fallen läßt, so breitet sich derselbe über die Oberfläche des Wassers in einer dünnen Schicht aus, welche ähnliche Farbenerscheinungen zeigt, wie die Seifenblasen. Indem nehmlich das Terpentinöl rasch verdunstet, vermindert sich die Dicke der dünnen über das Wasser ausgebreiteten Schicht fortwährend und veranlaßt einen beständigen Farbenwechsel.

Diese angeführten Versuche lassen jedoch keine gründliche Untersuchung zu, da es nicht möglich ist, die Dicke des Häutchens Seifenwasser oder Terpentinöl zu messen. Um zu diesem Ziele zu gelangen, eignet sich vorzüglich das folgende von Newton angewendete Verfahren, die Erscheinungen hervorzurufen.

Wenn man eine convexe Linse (ein Brennglas) von sehr schwacher Krümmung auf eine möglichst ebene Glasscheibe legt, beide Gläser etwas gegen einander preßt und sich dann so stellt, daß das von demselben reflectirte Tageslicht in das Auge gelangt, so bemerkt man da, wo sich beide Gläser berühren, einen dunklen Fleck, welcher von mehreren regenbogenfarbigen Ringen umgeben ist. Newton bediente sich einer Linse, deren Krümmungshalbmesser über 50 Fuß betrug. Die Erscheinung zeigt sich jedoch auch vollkommen deutlich bei Anwendung eines Glases aus einer schwachen Brille, welche für einen Weitsichtigen dient. Die Farbenringe fallen nur dann weniger breit aus. Um dieselben deutlicher zu sehen, kann man sie durch ein Vergrößerungsglas betrachten.

(Fig. 94.)

Um die auch bei der angegebenen Beobachtungsmethode doch noch immer sehr verwickelte Erscheinung noch mehr zu vereinfachen, muß man dieselbe nicht im zusammengesetzten weißen, sondern im einfarbigen, z. B. im rothen Lichte beobachten, indem man die Ringe durch ein tief roth gefärbtes Glas, welches nur den rothen Strahlen den Durchgang gestattet, betrachtet. Man bemerkt dann in der Mitte ebenfalls einen dunklen Fleck, welcher von abwechselnden hellen, rothen und dunklen Ringen umgeben ist, Fig. 94. Diese Ringe

Digitized by Google

werden, je weiter sie von der Mitte abstehen, um so schmaler und matter, bis sie endlich sich der Wahrnehmung gänzlich entziehen. — Aehnliches ist der Fall, wenn man nicht rothes Licht, sondern irgend eine andere Farbengattung anwendet. Eine Verschiedenheit zeigt sich jedoch darin, daß bei verschiedenen Farben die hellen und dunklen Ringe eine ungleiche Breite haben. Sie fallen am breitesten im rothen, am schmalsten dagegen im violetten Lichte aus.

Ist AB Fig. 95 ein Durchschnitt der gekrümmten, CD der ebenen Glasfläche, und bezeichnen 1, 3, 5 die Mitten der hellen, 2, 4, 6 aber die Mitten der dunklen Ringe, so zeigen die senkrechten Linien 11′, 33′, 55′, die Dicke an, welche die zwischen beiden Gläsern enthaltene Luftschicht an denjenigen Stellen hat, wo die Mitten der hellen Ringe hinfallen, während 22′, 44′, 66′ das Nehmliche für die dunklen Ringe angeben.

(Fig. 95.)

Indem nun Newton die Durchmesser der hellen und dunklen Ringe aufs sorgfältigste abmaß und hieraus die eben erwähnten Dicken berechnete, ergaben sich ihm folgende Gesetze:

Die Dicken der beide Gläser trennenden Luftschicht verhalten sich im einfarbigen Lichte für die Mitte der hellen Ringe wie die ungraden Zahlen 1, 3, 5 u. s. w.,

für die Mitten der dunklen Ringe aber wie die geraden Zahlen 2, 4, 6 u. s. w.

Ehe wir zeigen, wie die beschriebenen Erscheinungen und ins Besondere die zuletzt angeführten merkwürdigen Gesetze ihre einfache Erklärung in der Vibrationshypothese finden, haben wir noch Folgendes hervorzuheben:

An jeder Welle unterscheiden wir bekanntlich zwei nach entgegengesetzten Richtungen schwingende Theile, welche wir bei den Wellen im Wasser als Wellenberg und Wellenthal bezeichnen.

Wenn eine Welle bei ihrer Ausbreitung in der Richtung A, B, C, D, Fig. 96, fortschreitet und B, C, D von A um 1, 2, 3 ganze, oder was

(Fig. 96.)

dasselbe sagen will, um 2, 4, 6, überhaupt um eine gerade Anzahl halber Wellenlängen entfernt sind, so befindet sich die Welle bei ihrer Ankunft in den Punkten B, C, D genau in demselben Schwingungszustande wie in A. Wenn aber die Punkte b, c, d von A um 1, 3, 5, überhaupt um eine ungerade Zahl halber Wellenlängen entfernt sind, so hat die Welle, indem sie in diesen Punkten anlangt, den gerade entgegengesetzten Schwingungszustand.

Wenn zwei Wellen in einem Punkte zusammentreffen, so können

sich dieselben eben so wohl verstärken, als auch schwächen, je nachdem sie sich in diesem Punkte in gleichen oder entgegengesetzten Schwingungszuständen befinden.

Ferner führen wir noch den folgenden, zuerst von Young aufgestellten Satz an, welcher theils aus theoretischen Gründen folgt, theils, wie wir gleich weiter sehen werden, durch die oben angeführten Erscheinungen und Gesetze vollkommen bestätigt wird. Wenn eine Lichtwelle aus einem Mittel in ein anderes übergeht, so wird sie nur zum Theile durchgelassen, zum Theile zurückgeworfen. In Hinsicht des reflectirten Theiles findet jedoch eine Verschiedenheit statt, je nachdem der Uebergang aus einem stärker brechenden Mittel in ein schwächer brechendes, z. B. aus Glas in Luft oder umgekehrt, erfolgt. Die zurückgeworfene Lichtwelle wird in dem erstern Falle gleichsam um eine halbe Wellenlänge während der Reflexion verzögert und hat daher gerade den entgegengesetzten Schwingungszustand, welchen sie in dem andern Falle besitzt.

Wenden wir nun die angeführten Gesetze auf die Farbenerscheinungen dünner Blättchen an. Es sei AA, Fig. 97, die vordere, BB die hintere Grenzfläche einer durchsichtigen Substanz, z. B. einer zwischen zwei Gläsern befindlichen Luftschicht. Eine von irgend einer Lichtquelle ausgegangene und an der vorderen Fläche AA anlangende Lichtwelle wird hier zum Theil reflectirt; ein anderer Theil dringt in die dünne Schicht ein, setzt seinen Weg bis an die hintere Grenzfläche BB fort, wird an dieser ebenfalls zum Theil durchgelassen, zum Theil reflectirt; der zurückgeworfene Theil kehrt nach der vorderen Grenzfläche AA zurück, und indem er hier abermals eine Spaltung erleidet, wird nur ein Theil desselben durchgelassen.

(Fig. 97.)

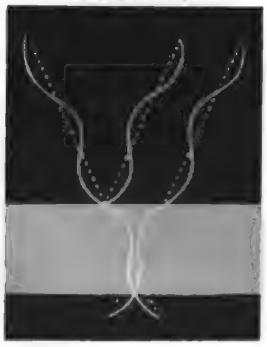
Dieser durchgelassene Theil trifft an der Fläche AA mit dem von dieser Fläche reflectirten Theile irgend einer späteren von der nehmlichen Lichtquelle ausgegangenen und bis an die Fläche AA gelangten Welle zusammen. Die beiden hier zusammentreffenden Wellentheile können sich nun zu Folge des Obigen ebensowohl verstärken, als schwächen, je nachdem sie sich im gleichen oder entgegensetzten Schwingungszustande befinden. Beide sind von der nehmlichen Lichtquelle ausgegangen, haben also von dieser bis zu der vorderen Fläche AA der dünnen Schicht gleiche Wege durchlaufen, aber außerdem hat die erstere Welle noch die Dicke der dünnen Schicht von der vordern Fläche AA bis zum hintern BB und von BB wieder zurück bis AA durchlaufen. Der Weg dieser Welle übertrifft also den der andern um die doppelte Dicke dieser Schicht. Es müssen sich daher beide reflectirten Wellen, da sie zu Folge des oben angeführten Satzes von Young an den Grenzflächen AA und BB eine verschiedenartige Reflexion erfahren haben, in gerade entgegengesetzten Schwingungszuständen befinden, also sich schwächen, wenn die Differenz ihrer Wege, d. h. die doppelte Dicke der dünnen Schicht 2, 4, 6 halben Wellenlängen, also die einfache Dicke 2, 4, 6, Viertel Wellenlängen, überhaupt einer geraden Zahl von Viertel Wellenlängen gleich ist. Dagegen müssen sich offenbar die von der vordern und hintern Fläche reflectirten Wellen verstärken, wenn die doppelte Dicke der dünnen Schicht einer ungeraden Zahl halber Wellenlängen, also die einfache Dicke einer ungeraden Zahl von Viertel Wellenlängen gleich ist.

Digitized by Google

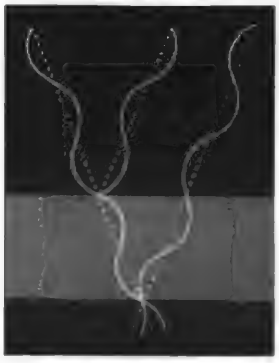
(Fig. 98.)

(Fig. 99.)

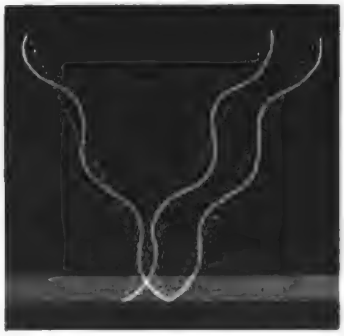
(Fig. 100.)



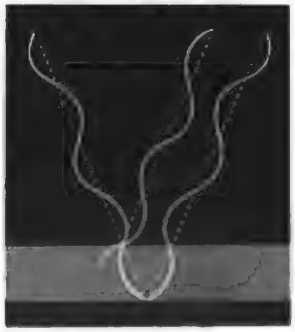
(Fig. 101.)



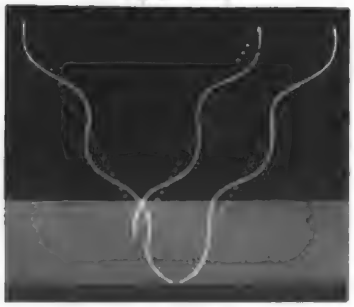
(Fig. 102.)



(Fig. 103.)



(Fig. 104.)



(Fig. 105.)

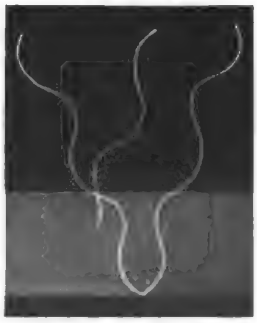


Fig. 98 bis 101 sollen den Gang der Lichtwellen veranschaulichen, wenn eine dünne, stärker brechende Schicht sich zwischen zwei schwächer brechenden befindet, wie dieß z. B. bei dem Wasserhäutchen der Seifenblasen der Fall ist, welches zu beiden Seiten von Luft umgeben ist, und wenn die Dicke der dünnen Schicht (in der Richtung des einfallenden Lichtes) entweder gleich 1 oder 2 oder 3 oder 4 Viertel Wellenlängen ist.

Fig. 102 bis 105 stellen das Nehmliche für den Fall dar, daß eine dünne, schwächer brechende Substanz von zwei stärker brechenden umgeben ist, wie z. B. bei den Newton'schen Farbenringen, bei denen sich eine Luftschicht zwischen zwei Gläsern befindet.

In den Fig. 98, 100, 102 und 104 befinden sich die von der vordern und hintern Fläche reflectirten Lichtwellen bei ihrem Zusammentreffen in gleichen Schwingungszuständen und verstärken sich folglich; in den Fig. 99, 101, 103 und 105 befinden sich dieselben in gerade entgegengesetzten Schwingungszuständen und müssen sich folglich schwächen.

An denjenigen Stellen, an welchen die Dicke der dünnen Schicht genau einer geraden oder einer ungeraden Zahl von Viertel Wellenlängen des auf-

fallenden Lichtes gleich ist, findet die größte Schwächung oder Verstärkung, an den zwischenliegenden aber ein allmähliger Uebergang von dem Einen zu dem Anderen statt.

Indem so die Farbenerscheinungen der dünnen Blättchen, ins Besondere die oben angeführten und von Newton durch seine sorgfältigen Messungen und Rechnungen aufgefundenen Gesetze, ihre einfache Erklärung in der Vibrationshypothese finden, haben dieselben zugleich wesentlich beigetragen, die Richtigkeit dieser Hypothese zu bestätigen.

Zu Folge der vorstehenden Erörterung sind die von Newton berechneten, in der Fig. 106 aber in vergrößertem Maaßstabe dargestellten senkrechten Linien 11', 33', 55' gleich ein, drei, fünf Viertel von der Länge einer Lichtwelle. Durch die Abmessung dieser Linien wird es daher möglich sein, zur Kenntniß der Länge der Lichtwellen zu gelangen. Newton, welcher diese Messungen mit der ausgezeichnetsten Sorgfalt ausführte, fand die Wellenlänge am größten beim rothen, am kleinsten beim violetten Lichte. Die Länge einer Welle ist nach Newton für erstere ohngefähr dem 2800ten, für letztere dem 4000ten Theile einer pariser Linie gleich.

(Fig. 106.)

Wie wir oben gesehen haben, ergiebt sich aus den Beobachtungen der Verfinsterungen der Trabanten des Jupiters eine Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes von 42,000 Meilen für die Secunde. Ist uns aber durch das Vorhergehende die Größe der Wellen, gleichsam der Schritte, gegeben, und außerdem die Länge des in einer bestimmten Zeit durchlaufenen Weges bekannt, so läßt sich hieraus auch die Zahl der Schwingungen (der Schritte) herleiten, wie wir Aehnliches schon oben in der Lehre vom Schalle gethan haben. Wir haben nur nöthig zuzusehen, wie oft die Länge einer Welle, $^1/_{2800}$ Linie für rothes und $^1/_{4000}$ Linie für violettes Licht, in 42,000 Meilen enthalten ist. Wir erhalten so für das rothe Licht die Zahl von 450 Billionen und für das violette Licht die Zahl von 660 Billionen Schwingungen in der Secunde. Wenn diese Zahlen durch ihre ungeheure Größe uns in Erstaunen setzen, so hoffen wir doch unsere Leser durch das Vorstehende überzeugt zu haben, daß dieselben auf einer einfachen und sicheren Basis beruhen; sie sind eine nothwendige Folge der von Niemand bezweifelten, sehr großen Geschwindigkeit des Lichtes und der sehr kleinen Länge der dieses so feine Agens fortpflanzenden Wellen.

Das Vorstehende betraf zunächst die Newton'schen Farbenringe, wie sie sich im einfarbigen Lichte zeigen. Im zusammengesetzten weißen Lichte erscheint die dunkle Mitte von abwechselnden regenbogenfarbigen Ringen umgeben. Diese Erscheinung erklärt sich sehr leicht aus der ungleichen Wellenlänge der das weiße Licht zusammensetzenden verschiedenfarbigen Strahlen, in Folge deren die Verstärkung und Schwächung für die verschiedenen Farben an verschiedene Stellen fällt, an einer bestimmten Stelle sich daher immer nur gewisse Strahlengattungen verstärken, andere dagegen schwächen oder auslöschen. Der dunkle Fleck in der Mitte aber ist nur Folge davon, daß hier beide Gläser gleichsam ein Ganzes bilden, und daher das Licht an dieser Stelle nicht reflectirt, sondern durchgelassen wird. Ebenso erklärt sich

auch der beständige Wechsel der Farben, welchen die Seifenblasen zeigen, aus dem Vorangehenden mit der größten Leichtigkeit. Bei einer gewissen Dicke des dünnen Häutchens müssen die Wellen einer gewissen Farbe sich vorzugsweise verstärken, andere dagegen sich schwächen; es wird daher die Seifenblase sich dem Auge in der den ersteren entsprechenden Farbe zeigen. So wie aber bei fortgesetztem Blasen die Seifenblase sich ausdehnt, das Häutchen also dünner wird, so wird auch die Verstärkung nicht mehr für die nehmliche, sondern für eine andere Strahlengattung eintreten, und also die Seifenblase mit veränderter Farbe erscheinen.

Beugung des Lichtes.

Wenn wir uns bei den Farbenerscheinungen der dünnen Blättchen länger verweilt und die Erklärung derselben nach der Vibrationshypothese ausführlicher entwickelt haben, so hoffen wir dies bei unsern Lesern durch die große Wichtigkeit der zugleich gewonnenen Resultate über die Größe der Wellenlängen und die Anzahl der Schwingungen für die verschiedenen Farbengattungen gerechtfertigt zu sehen. Wir würden jedoch besorgen, die Geduld unserer Leser zu ermüden, wollten wir nun auch noch die Erscheinungen der Beugung, zu denen wir uns jetzt wenden, und ihre Erklärung nach der Vibrationshypothese mit gleicher Ausführlichkeit vortragen. Wir beschränken uns daher in dieser Hinsicht auf eine kurze Skizze.

Wenn man in ein von der Sonne beschienenes verfinstertes Zimmer durch eine enge Oeffnung in einem Laden ein Büschel Sonnenstrahlen eintreten und zunächst auf ein Metallplättchen fallen läßt, in welchem sich ein sehr feiner Spalt befindet, dann die durch den Spalt hindurchgegangenen Strahlen in der Entfernung von mehreren Fußen mit einem weißen Schirme auffängt, so erblickt man auf diesem einen dem dünnen Spalte parallelen hellen Streifen und neben demselben zu beiden Seiten regenbogenfarbige Streifen.

Beobachtet man die Erscheinung nicht im zusammengesetzten weißen, sondern im einfarbigen Lichte, indem man die durch die enge Oeffnung eintretenden Sonnenstrahlen durch ein Prisma und durch den feinen Spalt nur eine Strahlengattung, z. B. nur rothes Licht gehen läßt, so erscheinen auf dem weißen Schirme nur abwechselnd rothe, hellere und dunklere Streifen, welche um so schmaler und schwächer werden, je mehr sich dieselben von der Mitte entfernen, wie dieß ohngefähr Fig. 107 darstellt.

(Fig. 107.)

Die Erklärung dieser Erscheinung nach der Vibrationshypothese ist im Wesentlichen folgende: Indem die innerhalb des feinen Spaltes befindlichen Aethertheilchen von einer Lichtwelle getroffen und erschüttert werden, werden sie selbst die Mittelpunkte von neuen sich um dieselben ausbreitenden und im Aether fortschreitenden Wellen. Je nachdem nun diese Wellen an den verschiedenen Stellen, in denen sie zusammentreffen, in gleichen oder entgegengesetzten Schwingungszuständen sich befinden, müssen sich dieselben entweder verstärken oder schwächen, wodurch auf dem auffangenden Schirm die abwechselnd hellen und dunklen Streifen erscheinen.

Das Vorhergehende betraf zunächst nur die Erscheinung, wie sie sich im einfachen Lichte zeigt. Da den das weiße Licht zusammensetzenden Farben eine ungleiche Wellenlänge zukommt, so müssen auch die Stellen der Verstärkung oder Schwächung für dieselben eine ungleiche Lage haben; es wird

Digitized by Google

daher auf dem auffangenden Schirme da, wo vorzugsweise die Wellen des rothen Lichtes sich verstärken, ein rother, wo vorzugsweise die Wellen des grünen oder blauen Lichtes sich verstärken, ein grauer oder blauer Streifen sich zeigen u. s. w.

Sehr schöne, aber verwickeltere Farbenerscheinungen werden erhalten, wenn man in einem verfinsterten Zimmer Licht durch mehrere hinter einander liegende feine Oeffnungen oder durch mehrere nahe neben einander befindliche feine Spalten oder durch ein feines Gitter gehen läßt. Auf dem nehmlichen Principe beruhen die Farben, welche man bemerkt, wenn man durch den feinen Bart einer Feder, durch die Haare eines Hutes, durch fein gewebte Zeuge nach der Sonne oder nach einer Lichtflamme sieht. Auch das Farbenspiel, welches die Perlmutter, die Flügel mancher Insecten, manche Seidenzeuge, abgestandene Gläser u. dgl. zeigen, gehören hierher. Die irisirende Eigenschaft der Perlmutter rührt nehmlich davon her, daß die Oberfläche derselben von äußerst feinen Linien durchzogen ist. Drückt man Perlmutter in Siegellack oder Wachs ab, so zeigt dieses ähnliche Farbenerscheinungen, wie die Perlmutter selbst.

Auch die Höfe, welche man nicht selten um die Sonne und den Mond erblickt, ferner die sogenannten Nebensonnen und Nebenmonde, welche sich zuweilen, besonders bei sehr großer Kälte zeigen, beruhen theils auf der Beugung, welche die Strahlen der Sonne und des Mondes an den in der Atmosphäre schwebenden Dunstbläschen, theils auf der Brechung und Reflexion, welche dieselben in und an den feinen Eisnadeln erleiden, welche besonders in den höhern Regionen der Atmosphäre schweben.

Polarisation des Lichtes.

Wir beschließen die Lehre vom Lichte, indem wir unsern Lesern noch eine höchst merkwürdige Eigenschaft des Lichtes vorführen, welche sich jedoch nur mit Hülfe künstlicher Apparate beobachten läßt und mit den im gewöhnlichen Leben sich zeigenden Erscheinungen kaum in einem Zusammenhange steht. Wir würden jedoch bei der Merkwürdigkeit dieser Eigenschaft den Vorwurf einer wesentlichen Lücke besorgen müssen, wollten wir dieselbe ganz unerwähnt lassen.

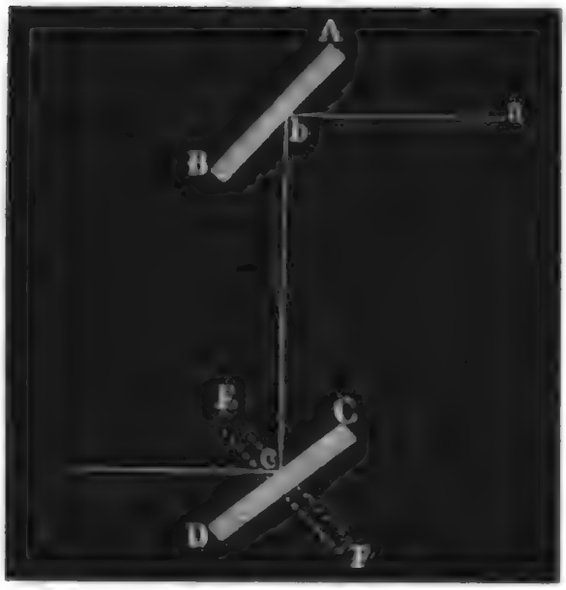
Wenn ein Lichtstrahl von einer spiegelnden Fläche, z. B. von der Oberfläche des Wassers, polirten Holzes, überhaupt von der glatten Oberfläche irgend eines nicht metallischen Körpers — Metalle machen hierin eine Ausnahme — schief zurückgeworfen worden oder durch irgend eine durchsichtige Substanz in schiefer Richtung hindurchgegangen ist, so zeigt derselbe in gewissen sogleich näher anzugebenden Fällen ein von einem gewöhnlichen Lichtstrahle verschiedenes Verhalten und wird, zum Unterschiede von gewöhnlichem Lichte, polarisirt genannt.

Um von unsern Lesern, denen die hierbei anzuwendenden Apparate nicht zu Gebote stehen, leichter verstanden zu werden, wollen wir bei der folgenden Beschreibung von einem ganz bestimmten Falle ausgehen.

Auf eine Scheibe von Spiegelglas AB, Fig. 108, welche unter einem Winkel von 45^0 gegen den Horizont und zwar in der Richtung nach Osten geneigt sein soll, falle in wagerechter Richtung von Osten nach Westen ein Lichtstrahl ab; dann wird derselbe von dem Spiegel AB in der senkrechten Richtung bc reflectirt. Dieser reflectirte Strahl, welcher nach dem oben Gesagten polarisirt ist, treffe in c eine der obern parallele Spiegelglasplatte CD, so wird er mit dieser offenbar ebenfalls einen Winkel von 45^0 bilden; dasselbe wird auch der Fall sein, wenn der untere Spiegel nicht

Digitized by Google

(Fig. 108.)



gegen Osten, sondern gegen Westen unter einem Winkel von 45° geneigt ist, also die Lage EF hat. Ebenso wird der Strahl bc den untern Spiegel beständig unter demselben Winkel von 45° treffen, wenn dieser bei gleich bleibendem Neigungswinkel gegen Süden oder Norden hin gewendet ist.

Wäre nun bc ein gewöhnlicher Lichtstrahl, so könnte es offenbar keinen Unterschied machen, welche Lage der Spiegel CD gegen die Himmelsgegenden hat, so lange derselbe nur überhaupt mit dem Horizonte und dem einfallenden Strahle bc den nehmlichen Winkel von 45° bildet. Anders dagegen verhält sich der von dem Spiegel AB reflectirte und in Folge dieser Reflexion polarisirte Lichtstrahl bc. Derselbe wird, wenn der untere Spiegel CD mit dem obern Spiegel AB parallel, also nach unserer Annahme gegen Westen geneigt ist, am vollständigsten zurückgeworfen und am schwächsten durchgelassen. Das Nehmliche ist der Fall, wenn der untere Spiegel die Lage EF, also die gerade entgegengesetzte Neigung nach Westen hat. Der polarisirte Strahl wird dagegen am schwächsten zurückgeworfen und am vollständigsten durchgelassen, wenn der untere Spiegel in die Zwischenlagen mit der Neigung gegen Süden oder Norden gebracht worden ist.

An dem polarisirten Strahle lassen sich also gleichsam vier Hauptseiten unterscheiden. Er wird am vollständigsten reflectirt, wenn er mit einer gewissen oder der gerade gegenüberstehenden Seite gegen die reflectirende Fläche gewendet ist, am wenigsten aber, wenn er eine der in der Mitte zwischen jenen liegenden Seiten der spiegelnden Fläche zuwendet. Eine durch den polarisirten Strahl in der Richtung der beiden ersten Seiten gelegten Ebene wird die Polarisationsebene genannt.

Das eben Ausgeführte gilt jedoch nicht blos für den besonders beschriebenen Fall, sondern allgemein für jeden von einer polirten, nicht metallischen Fläche reflectirten Strahl. Unwesentlich ist in der vorstehenden Beschreibung, welche um größerer Deutlichkeit willen an leicht zu überblickende besondere Verhältnisse angeknüpft worden ist, die Richtung von Osten nach Westen und die wagerechte Lage des einfallenden und ebenso die senkrechte Lage des polarisirten Strahles. Wesentlich ist dagegen der Winkel, welchen der einfallende und der polarisirte Strahl mit den Spiegelflächen bilden. Der Winkel von 45° ist jedoch nicht gerade der vortheilhafteste; vielmehr ist bei Glasspiegeln ein Neigungswinkel von ohngefähr 33° derjenige, unter welchem ein Lichtstrahl am vollständigsten polarisirt wird.

Dieser Winkel der vollkommensten Polarisation ist für verschiedene Substanzen verschieden und hängt von dem Brechungsvermögen derselben ab. Er ist für schwächer brechende Substanzen größer, als für stärker brechende und beträgt z. B. für Wasser ungefähr 37°.

Nach der Vibrationshypothese unterscheidet sich ein polarisirter Lichtstrahl von einem gewöhnlichen darin, daß bei ersterem die Aethertheilchen

Digitized by Google

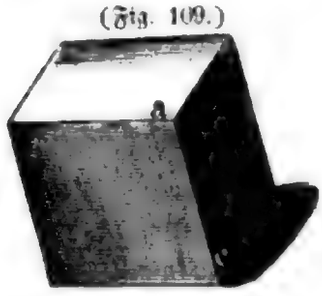
nur in einer Ebene, welche auf der Polarisationsebene senkrecht steht, bei einem gewöhnlichen Lichtstrahle in verschiedenen Ebenen schwingen. Es erklärt sich hieraus auch die Erscheinung, daß zwei polarisirte Lichtstrahlen beim Zusammentreffen sich am vollständigsten interferiren, verstärken oder schwächen, wenn ihre Polarisationsebenen eine gleiche Lage haben, daß sie dagegen nicht interferirend auf einander wirken, wenn ihre Polarisationsebenen auf einander senkrecht stehen. In dieser Erscheinung ist der Grund enthalten, weshalb man, wie schon oben angeführt, in der Vibrationshypothese annimmt, daß in den das Licht fortpflanzenden Aetherwellen die Aethertheilchen, nicht wie bei den Schallwellen in der Luft in der Richtung des Radius, sondern in der auf diesen senkrechten Richtung, in ähnlicher Art wie die Wassertheilchen bei den auf der Oberfläche des Wassers fortschreitenden Wellen, schwingen.

Doppelte Brechung des Lichtes.

An das Vorstehende anreihend, erwähnen wir noch kurz einer Eigenschaft, welche viele krystallisirte durchsichtige Substanzen, in ausgezeichnetstem Maaße aber der Kalkspath, besitzen, nehmlich einen Lichtstrahl bei der Brechung in zwei zu spalten, so daß Gegenstände durch einen Kalkspathkrystall gesehen, doppelt erscheinen. Die beiden Strahlen, in welcher ein Lichtstrahl bei der doppelten Brechung gespalten wird, verhalten sich nicht wie gewöhnliches Licht, sondern sind polarisirt und zwar allemal so, daß ihre Polarisationsebenen auf einander senkrecht stehen.

Wie wir schon oben S. 61 gesehen haben, läßt sich der Kalkspath sehr leicht nach drei Richtungen spalten. Die Stücke, welche man auf diese Art erhält, haben die Gestalt eines Rhomboeders, Fig. 109. Eine Linie, welche die Ecke a, in welcher drei stumpfe Winkel zusammenstoßen, mit der gegenüberliegenden Ecke verbindet, wird die optische Axe des Kalkspaths genannt. Ein in der Richtung dieser Axe in denselben eintretender Strahl wird nicht in zwei zerlegt, sondern geht ungespalten hindurch. Aehnliches gilt von andern das Licht doppelt brechenden Substanzen.

(Fig. 109.)



Nach der Vibrationshypothese beruht die doppelte Brechung des Lichtes darauf, daß der Aether in den Poren der das Licht doppelt brechenden Substanzen nach verschiedenen Richtungen hin eine ungleiche Dichte besitzt.

Endlich führen wir noch an, daß dünne Blättchen von Gyps, Glimmer, senkrecht zur optischen Axe geschnittene Platten von Kalkspath und andern das Licht doppelt brechenden Substanzen im polarisirten Lichte sehr schöne Farbenerscheinungen zeigen, welche in ähnlicher Art, wie die Erscheinung der Beugung, durch die Interferenz der Lichtwellen erklärt werden. — Wir übergehen die Beschreibung dieser Erscheinung, da wir die zur Erzeugung derselben nöthigen Apparate bei unsern Lesern nicht voraussetzen und nicht wohl annehmen können, daß die bloße Beschreibung ohne Anschauung der Erscheinung selbst unsern Lesern ein hinreichendes Interesse gewähren dürfte.

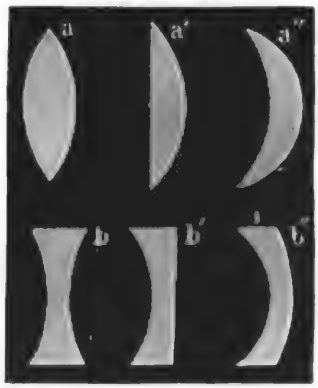
Nachdem wir nun die wichtigsten Gesetze der Optik und derjenigen Naturerscheinungen, welche in denselben ihre Erklärung finden, unsern Lesern vorgeführt haben, fügen wir noch die Beschreibung einiger optischen Apparate hinzu, deren Einrichtung und Gebrauch sich ebenfalls auf jene Gesetze gründet. Wir meinen hauptsächlich das Fernrohr, welchem vorzüglich die Astronomie ihre großartigen Entdeckungen verdankt, und das Mikroscop, durch welches besonders in der neuesten Zeit für mehrere andere Zweige der Naturwissen-

Digitized by Google

schaften nicht minder wichtige Aufschlüsse gewonnen worden sind. Außerdem sollen noch gelegentlich einige andere Apparate von geringerer Wichtigkeit angeführt werden.

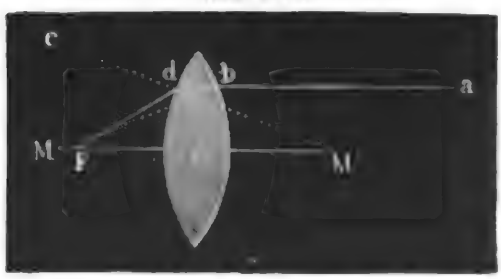
Linsen. Einen Haupttheil fast aller zusammengesetzten optischen Apparate bilden Glaslinsen. Man nennt eine Linse überhaupt einen Körper, welcher entweder von zwei kugelförmigen oder von einer ebenen und einer kugelförmigen Fläche begrenzt ist. In optischer Hinsicht haben wir wesentlich Sammellinsen und Zerstreuungslinsen zu unterscheiden. Die ersteren machen, wie wir gleich weiter sehen werden, parallele Strahlen convergent, die letzteren machen parallele Strahlen divergent, die ersteren sind in der Mitte dicker als am Rande, die letzteren sind am Rande dicker als in der Mitte. Die Sammellinsen sowohl wie die Zerstreuungslinsen, können wieder von dreierlei Art sein, wie dieß Fig. 110 zeigt. Die drei Formen a, a′, a″ der Sammellinsen und ebenso die drei Formen der Zerstreuungslinsen b, b′, b″ stimmen jedoch in ihrem optischen Verhalten im Wesentlichen unter sich überein, so daß es für unsern Zweck vollständig ausreichen wird, bei jeder Gattung nur eine dieser Formen zu berücksichtigen, als welche wir bei den Sammellinsen die biconvexe a, bei den Zerstreuungslinsen die biconcave b wählen werden. Weiter bemerken wir noch, daß bei allen Linsen eine durch die Mittelpunkte der beiden kugelförmigen Grenzflächen gehende Linie die Axe und ein Punkt im Innern der Linse, welcher in der Axe und in der Mitte zwischen den beiden Grenzflächen der Linse liegt, das optische Centrum genannt wird.

(Fig. 110.)



Es sei nun C, Fig. 111, das optische Centrum, und M und M′ seien die Mittelpunkte einer biconvexen Linse. Ein mit der Axe paralleler Strahl ab treffe die vordere Fläche der Linse in b; verbinden wir diesen Punkt mit dem Krümmungsmittelpunkte M, so ist der Radius Mb als das Einfallsloth anzusehen, weil derselbe auf der durch den Punkt b gehenden Tangente senkrecht steht. Da der Lichtstrahl bei b aus Luft in Glas übergeht, so wird derselbe hier zum Einfallslothe, wie wir annehmen wollen, in die Richtung bd gebrochen. Der gebrochene Strahl bd, welcher die hintere Fläche der Linse in d trifft, tritt hier aus dem Glase in Luft aus; ziehen wir daher für den Punkt d das Einfallsloth M′de, so wird derselbe vom Einfallslothe, etwa in die Richtung dF gebrochen.

(Fig. 111.)

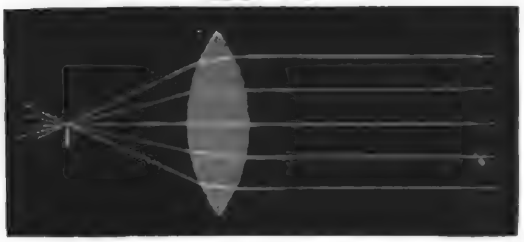


Der einfallende Strahl ab war mit der Axe parallel, der eintretende Strahl bd wurde gegen dieselbe convergent, und der austretende Strahl dF wurde noch stärker convergent. Diese letztern Behauptungen gelten, wie aus der vorstehenden Erörterung folgt, nicht blos für den Strahl ab, sondern offenbar für jeden mit der Axe parallel einfallenden Strahl. Alle mit

der Axe parallel einfallende Strahlen werden alſo durch die Brechung in der Linſe zur Axe convergent.

Durch theoretiſche Gründe, deren Auseinanderſetzung uns jedoch zu weit führen würde, läßt ſich weiter zeigen, ſo wie auch durch die Erfahrung beſtätigen, daß ſämmtliche parallel mit der Axe einfallende und die Linſe in nicht zu großem Abſtande von der Mitte treffende Strahlen nach der Brechung durch die Linſe die Axe, wenn auch nicht genau, doch ſehr nahe in demſelben Punkte F, Fig. 112, ſchneiden. Dieſer Vereinigungspunkt der mit der Axe parallel einfallenden Strahlen nach der Brechung durch die Linſe wird der Brennpunkt der Linſe genannt.

(Fig. 112.)

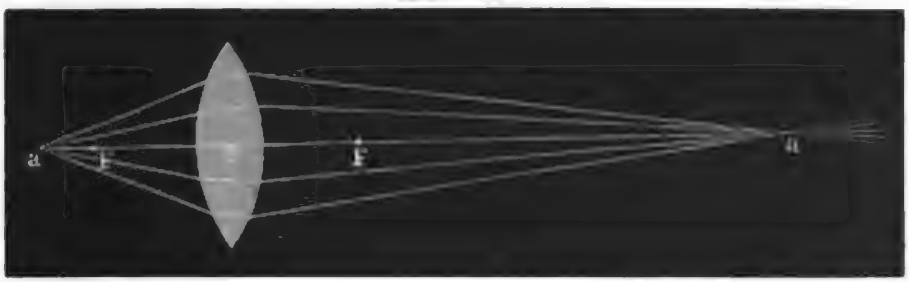


Umgekehrt geht aber hieraus hervor, daß, wenn in dem Brennpunkte F einer Linſe ein leuchtender Punkt vorhanden iſt, die von demſelben auf die Linſe fallenden Strahlen ſo gebrochen werden, daß ſie in paralleler Richtung mit der Axe aus der Linſe austreten.

Während alſo parallele Strahlen durch die Linſe nach dem Brennpunkte hin convergent gemacht werden, werden umgekehrt von dem Brennpunkte aus divergent auf die Linſe fallende Strahlen durch die Brechung in derſelben parallel.

Wenn aber von einem Punkte a, Fig. 113, welcher weiter als der Brennpunkt F von der Linſe entfernt iſt, Strahlen auf dieſelbe fallen, ſo ſind

(Fig. 113.)

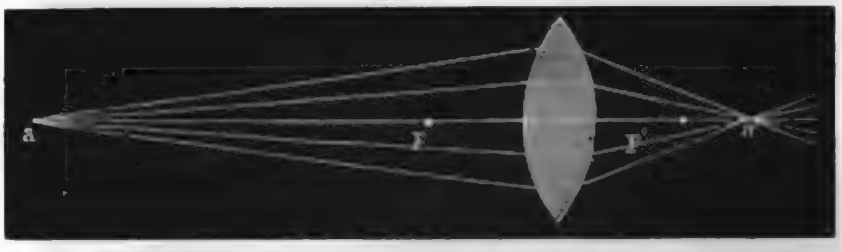


dieſelben offenbar ſchwächer divergent, als Strahlen, welche vom Brennpunkte ausgehend die Linſe treffen; ſie werden daher nicht, wie dieſe durch die Brechung in der Linſe parallel, ſondern convergent gemacht werden, ſo daß ſie die Axe durchſchneiden, und zwar (wenn auch nicht genau, doch ſehr nahe) in ein und demſelben Punkte a'. Ein weiter von der Linſe, aber in der Richtung dieſer Strahlen befindliches Auge wird daher in a' ein Bild des leuchtenden Punktes a erblicken, oder wenn in dem Abſtande a'C von der Linſe ein weißer Schirm aufgeſtellt iſt, ſo wird ſich auf demſelben in a' ein heller Punkt zeigen.

Je mehr der leuchtende Punkt a ſich dem Brennpunkte der Linſe nähert, um ſo ſtärker divergent fallen die von demſelben ausgehenden Strahlen auf die Linſe, um ſo ſchwächer convergent werden dieſelben daher aus der Linſe austreten, und um ſo weiter muß folglich der Vereinigungspunkt a' hinaus-

rücken. Umgekehrt wird sich derselbe der Linse nähern, wenn sich der leuchtende Punkt a von der Linse entfernt. Ist der leuchtende Punkt a, Fig. 114,

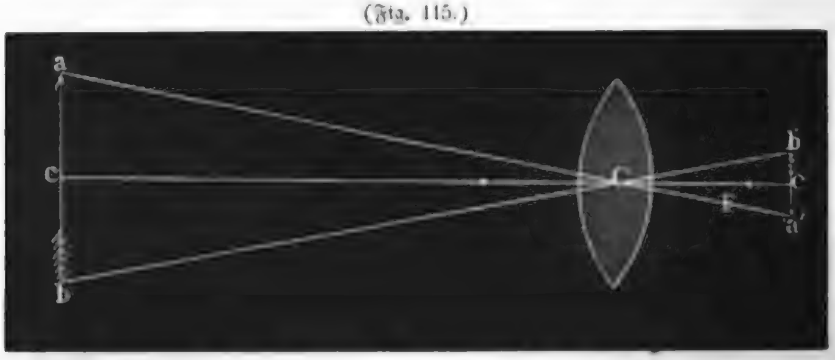
(Fig. 114.)



von der Linse sehr weit entfernt, so daß die von demselben ausgehenden Strahlen fast parallel auf die Linse fallen, so werden die gebrochenen Strahlen sich nur wenig jenseits des an der andern Seite der Linse liegenden Brennpunktes vereinigen.

Wenden wir nun diese Erörterungen auf einen vor der Linse, aber in beträchtlicher Entfernung von derselben, befindlichen Gegenstand ab, Fig. 115,

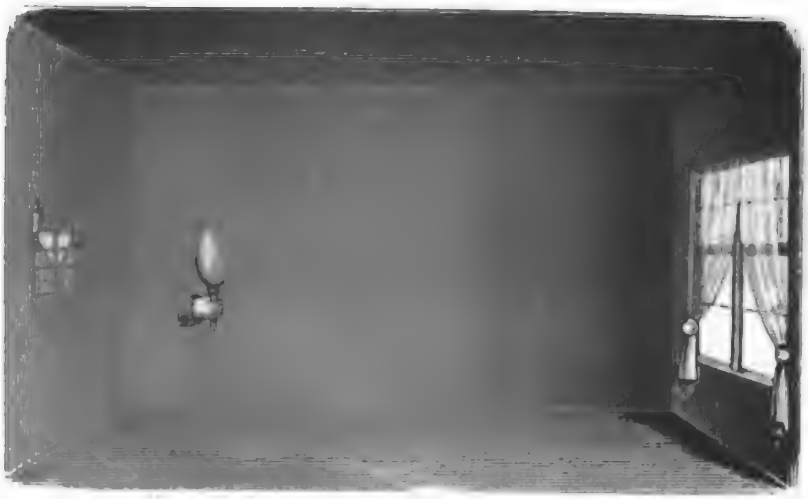
(Fig. 115.)



an. Von dem leuchtenden Punkte c in der Axe entsteht zu Folge des Vorhergehenden etwas jenseits des Brennpunktes ein Bild c' in der Axe. Das Bild des außerhalb der Axe liegenden Punktes a fällt ebenso in die Verlängerung des durch das optische Centrum C gehenden Hauptstrahles cc' etwa in a', und auf gleiche Weise entsteht in b' ein Bild des Punktes b. Da nun die Bilder der zwischen a und b liegenden Punkte des leuchtenden Gegenstandes ab offenbar zwischen a' und b' zu liegen kommen, so setzen dieselben ein umgekehrtes und verkleinertes Bild a'b' des leuchtenden Gegenstandes ab zusammen, welches um so näher an den Brennpunkt F fällt, je weiter der Gegenstand a'b' selbst von der Linse entfernt ist.

Zur Bestätigung des Vorhergehenden stellen wir folgenden Versuch an: In einem Zimmer, in welchem nur ein Fenster vorhanden ist, oder alle anderen **bis auf eines durch Laden verschlossen sind, halten wir eine Sammellinse (ein Brennglas), in angemessenem Abstande von einer dem Fenster gegenüberliegenden weißen Wand; es erscheint dann auf dieser ein umgekehrtes Bild des Fensters, Fig. 116. Haben wir die Linse der Wand so weit genähert oder von derselben entfernt, daß das Bild des Fensters sich vollkommen deutlich zeigt, so ist der Abstand der Linse von der Wand sehr nahe der Brennweite der Linse gleich, vorausgesetzt, daß diese einige Zolle nicht übersteigt, und das Fenster mehrere Fuße von der Wand entfernt ist. Wir**

(Fig. 116.)

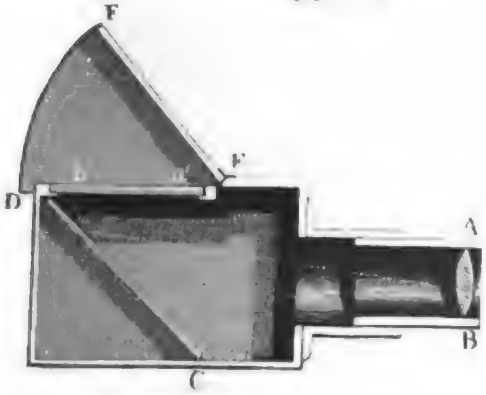


erhalten ſo ein ſehr einfaches Mittel, die Brennweite einer Linſe annähernd zu beſtimmen.

Die Camera obſcura.

Das Bild, welches auf dieſe Art entſteht, erſcheint verkehrt. Um demſelben eine für das Auge bequeme Lage zu geben, iſt in der Camera obſcura, deren Einrichtung weſentlich auf dem eben Geſagten beruht, ein unter 45° geneigter Spiegel CD, Fig. 117, angebracht. Die von einem entfernten Gegenſtande ab ausgehenden Strahlen werden durch die Sammellinſe AB ſo gebrochen, daß ſie ſich erſt hinter dem Spiegel CD vereinigen würden; indem ſie aber auf dieſen fallen, werden ſie nach a′ und b′ hin zurückgeworfen und erzeugen hier auf einer matt geſchliffenen Glasſcheibe in der Lage a′b′ ein Bild des leuchtenden Gegenſtandes ab.

(Fig. 117.)



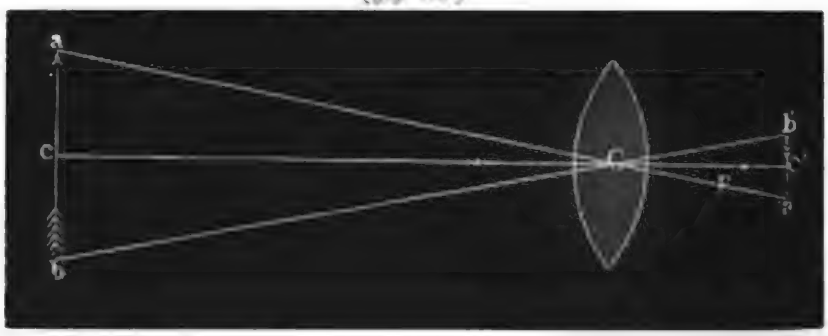
So wie wir nehmlich oben gezeigt haben, daß ein Planſpiegel divergent auf denſelben auffallende Strahlen divergent zurückwirft, ſo werden umgekehrt auf einen Planſpiegel convergent auffallende Strahlen, wie dieß hier der Fall iſt, auch convergent zurückgeworfen, alſo ſo, daß die Vereinigungspunkte derſelben vor den Spiegel fallen.

Damit das Bild a′b′ für das Auge beſſer hervortritt, iſt zur Abhaltung anderen Lichtes der undurchſichtige Schirm EF angebracht.

So wie eine Sammellinſe von einem fernen Gegenſtande ab, Fig. 118, ein umgekehrtes und verkleinertes Bild a′b′ in der Nähe des Brennpunktes erzeugt, ſo wird durch dieſelbe umgekehrt von einem in der Nähe des Brennpunktes F befindlichen Gegenſtande a′b′ ein umgekehrtes und vergrößertes Bild ab erzeugt. — Wenn man am Abende eine Lichtflamme einer Sammellinſe

Digitized by Google

(Fig. 118.)



hinreichend nähert, ſo erſcheint auf der gegenüberliegenden Wand ein verkehrtes und vergrößertes Bild der Flamme, Fig. 119.

(Fig. 119.)

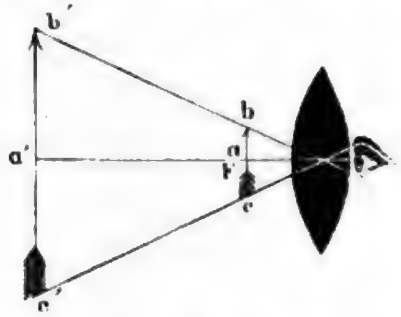
Die Zauberlaterne.

Dieſe vergrößerten Bilder gewähren den Kindern ein unterhaltendes Spielwerk in der Zauberlaterne, laterna magica, deren Einrichtung wir bei unſern Leſern als bekannt vorausſetzen. Wir erinnern nur an Folgendes: Auf Glas gemalte Bilder werden verkehrt eingeſetzt, damit die Abbildungen derſelben auf der weißen Wand aufrecht erſcheinen. Da mit der Vergrößerung die Lichtſtärke abnimmt, werden dieſelben durch die Flamme einer Lampe möglichſt ſtark erleuchtet. Zur Erzeugung der vergrößerten Bilder wendet man gewöhnlich nicht eine, ſondern zwei Linſen an, und zwar aus folgenden Gründen: Eine Linſe vergrößert offenbar um ſo ſtärker, je ſtärker dieſelbe gekrümmt und je kürzer folglich ihre Brennweite iſt. Eine ſtark gekrümmte Linſe kann aber natürlich nur klein ſein und daher nur wenig Licht durchlaſſen. Zwei nahe hinter einander angebrachte größere Linſen bewirken eine ebenſo ſtarke Vergrößerung, als eine einzige kleinere Linſe, aber ſie laſſen mehr Licht durch und ſind eben deshalb für die Zauberlaterne beſſer geeignet.

Das Sonnenmikroſcop.

Mit dieſem auf gleichem Prinzipe beruhen das Knallgas- oder Hydrooxygengasmikroſcop und das Sonnenmikroſcop. Da bei dieſen ein Gegenſtand viele tauſendmal vergrößert wird, ſo muß man für eine beſonders ſtarke Beleuchtung Sorge tragen. Man erhält ein höchſt intenſives Licht, indem man ein Stückchen Kalk oder Kreide im Knallgas-

(Fig. 122.)



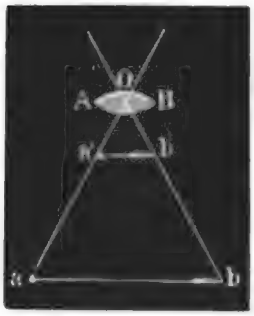
treten die von den Endpunkten b und c, Fig. 122, eines innerhalb der Brennweite befindlichen Gegenstandes stark divergent auf die Linse fallenden Strahlen weniger divergent aus der Linse aus, gleich als wenn sie von ferner liegenden Punkten b' und c' ausgegangen wären. Ein an der andern Seite der Linse befindliches Auge erblickt daher statt der Punkte b und c Bilder derselben in den ferner liegenden Punkten b' und c' und sieht den ganzen Gegenstand nicht in bc, sondern in b'c' weiter hinaus gerückt, aufrecht und vergrößert.

Zur Bestätigung des eben Vorgetragenen kann Folgendes dienen: — Wenn man eine Sammellinse in einem geringen Abstande von einer Schrift hält, so sieht man die Buchstaben durch dieselbe vergrößert. In dem Panorama oder Guckkasten werden perspectivisch gezeichnete Bilder innerhalb der Brennweite, doch nahe am Brennpunkte einer Linse, welche mehrere Fuß Brennweite hat, aufgestellt; man sieht durch die Linse die Bilder weiter hinausgerückt und vergrößert. Den nützlichsten Gebrauch findet jedoch die Sammellinse als einfaches Mikroscop.

Das einfache Mikroscop.

Wenn wir einen kleinen Gegenstand deutlich sehen wollen, müssen wir denselben dem Auge möglichst nahe bringen. Allein für jedes Auge giebt es eine gewisse Grenze, unter welche herab demselben ein Gegenstand überhaupt nicht genähert werden darf, wenn noch deutliches Sehen stattfinden soll. Diese Entfernung beträgt für gesunde Augen, welche der Brillen nicht bedürfen, etwa 8 bis 10 Zoll. Wenn das Auge O, Fig. 123, den Gegenstand a'b' nicht mehr deutlich zu sehen vermag, weil derselbe dem Auge zu nahe ist, so wird durch Einschaltung einer Sammellinse AB zwischen Gegenstand und Auge diesem Uebelstande abgeholfen werden können, indem das Auge jetzt statt des Gegenstandes a'b' dessen vergrößertes und entfernteres Bild ab erblickt.

(Fig. 123.)



Soll die Linse stark vergrößern, so muß sie eine kurze Brennweite, also starke Krümmungen haben; sie wird daher selbst nur klein sein können und folglich nur wenig Licht durchlassen. Man muß deshalb, zumal mit der Vergrößerung die Lichtstärke abnimmt, für möglichst starke Erleuchtung des Gegenstandes sorgen. Man bewirkt diese gewöhnlich durch einen unter dem Gegenstande angebrachten Spiegel, welcher das Licht der Wolken auf denselben reflectirt. Allein auch so gewährt das einfache Mikroscop bei starker Vergrößerung nur schwaches Licht, und überdieß vermag man wegen der Kleinheit der Linse auch nur einen sehr kleinen Gegenstand oder nur einen sehr kleinen Theil eines Gegenstandes auf einmal zu übersehen. Das einfache Mikroscop leidet also bei starker Vergrößerung an Lichtschwäche und Kleinheit des Gesichtsfeldes.

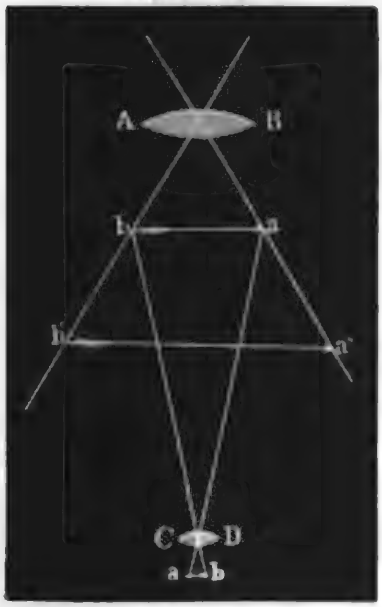
In beiderlei Hinsicht wird dasselbe übertroffen durch das zusammengesetzte Mikroscop. Ehe wir zur Beschreibung dieses Instrumentes übergehen, bemerken wir nur noch in Beziehung auf das einfache Mikroscop,

Digitized by Google

daß als Vergrößerungsgläſer dienende Linſen, deren Brennweite mehr als einen halben Zoll beträgt, gewöhnlich nicht Mikroſcope, ſondern Lupen genannt werden.

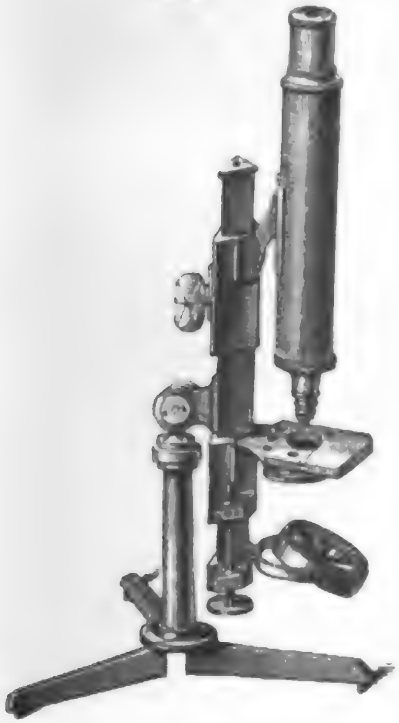
Das zuſammengeſetzte Mikroſcop würde in ſeiner einfachſten Einrichtung nur aus zwei Sammellinſen beſtehen, einer Objectivlinſe CD, und einer Ocularlinſe AB, Fig. 124. Die erſtere erzeugt von einem nahe an dem Brennpunkte, doch etwas jenſeits deſſelben befindlichen kleinen Gegenſtande ab, ein verkehrtes und vergrößertes Bild a'b', welches durch die Ocularlinſe AB nochmals vergrößert und in die deutliche Sehweite hin ausgerückt wird, ſo daß es dem vor dieſer Linſe befindlichen Auge in a"b" erſcheint. Das zuſammengeſetzte Mikroſcop.

(Fig. 124.)



Wie wir oben geſehen haben, werden durch eine Sammellinſe die von einem Punkte ausgehenden Strahlen zwar ziemlich nahe, aber nicht ganz genau wieder in einem Punkte vereinigt. Nur die nahe an der Mitte auffallenden Strahlen vereinigen ſich faſt genau in demſelben Punkte; dieß gilt dagegen um ſo weniger, je näher nach dem Rande hin die Strahlen die Linſe treffen. Da hiernach die Randſtrahlen die Deutlichkeit des Bildes beeinträchtigen, ſo pflegt man in der Röhre, an deren Enden ſich einerſeits die Objectiv-, andererſeits die Ocularlinſe befindet, an der Stelle, an welcher das von erſterer erzeugte Bild entſteht, zur Abhaltung der ſtörenden Randſtrahlen eine ſogenannte Blendung, d. h. einen in der Mitte mit einer Oeffnung verſehenen Schirm, welcher nur die mittleren Strahlen hindurchläßt, anzubringen.

(Fig. 125.)



Außerdem wird noch zwiſchen dem Objectiv- und Ocularglaſe eine Sammellinſe angebracht, welche den Namen Collectivglas führt und die Beſtimmung hat, die durch das Objectiv gebrochenen Strahlen genauer in einem Punkte zuſammenzubringen. Endlich bemerken wir noch, daß nach dem oben über die Verbindung zweier Linſen Geſagten das Ocular auch aus zwei und ebenſo das Objectiv aus zwei oder mehr Linſen zuſammengeſetzt ſein kann. Fig. 125 ſtellt ein zuſammengeſetztes Mikroſcop nach ſeiner äußern Einrichtung dar.

Gute Mikroſcope gewähren eine 500- bis 1000malige Vergrößerung. Uebrigens

Digitized by Google

ist nicht dasjenige Mikroscop das vorzüglichste, welches am stärksten vergrößert, sondern dasjenige, durch welches man sehr kleine Gegenstände am deutlichsten sieht.

Das Fernrohr.

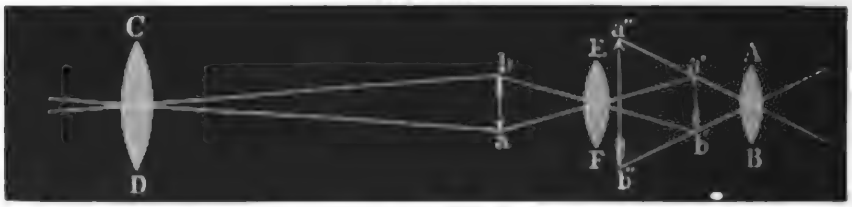
Große Aehnlichkeit mit dem zusammengesetzten Mikroscope hat das astronomische Fernrohr. Dasselbe besteht nehmlich ebenfalls aus einer Objectivlinse CD, und einer Ocularlinse AB, Fig. 126. Das durch erstere von einem fernen Gegenstande erzeugte umgekehrte Bild a'b' wird durch die Ocularlinse in die deutliche Sehweite nach a"b" hinausgerückt und vergrößert. Außer diesen beiden Linsen ist noch, wie beim zusammengesetzten Mikroscope, zwischen denselben eine Collectivlinse und zur Abhaltung der durch das Objectiv gegangenen Randstrahlen eine Blendung angebracht.

(Fig. 126.)

Das astronomische Fernrohr übertrifft eben wegen der Einfachheit seiner Construction in der Schärfe und Reinheit der Bilder das gleich zu beschreibende Erdfernrohr; aber es eignet sich, da es die Gegenstände verkehrt zeigt, weniger zu gewöhnlichen Beobachtungen auf der Erde.

Bei dem Erdfernrohre ist zwischen der Objectivlinse CD, Fig. 127, und der Ocularlinse AB noch eine Linse EF angebracht, welche das von

(Fig. 127.)



ersterer erzeugte umgekehrte Bild ab abermals umkehrt, also wieder aufrichtet. Dieses aufrechte Bild a'b' wird dann durch die Ocularlinse für das vor derselben befindliche Auge in die Lage a"b" hinausgerückt.

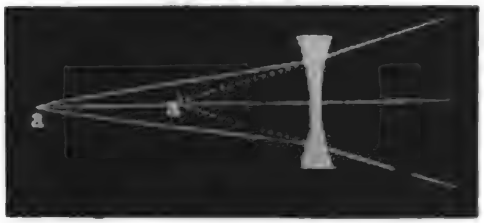
Gewöhnlich wird die Umkehrung des von dem Objective erzeugten Bildes ab nicht durch eine einzige Linse EF, sondern durch zwei Linsen bewirkt; fügen wir nun noch zwischen diesen und der vordersten Ocularlinse AB eine Collectivlinse hinzu, so erhalten wir überhaupt für das Ocular vier Linsen, welches die gebräuchlichste Einrichtung der Erdfernröhre ist.

Es giebt aber auch Fernröhre, welche die Gegenstände aufrecht zeigen, und bei denen das Ocular aus einer einzigen Linse, nehmlich aus einer Zerstreuungslinse besteht. Dieß ist z. B. bei den sogenannten Opernguckern der Fall, welche sich für den bequemen Gebrauch durch ihre Kürze empfehlen, aber in der Regel nur eine schwache Vergrößerung gewähren. Ehe wir indeß die Einrichtung derselben erklären können, haben wir noch vorher die Brechung, welche die Lichtstrahlen in Zerstreuungslinsen erleiden, zu erörtern. Denn wir haben bisher nur von der Sammellinse gehandelt, welche auch eine weit mannigfaltigere Anwendung, als die Zerstreuungslinse, findet.

Digitized by Google

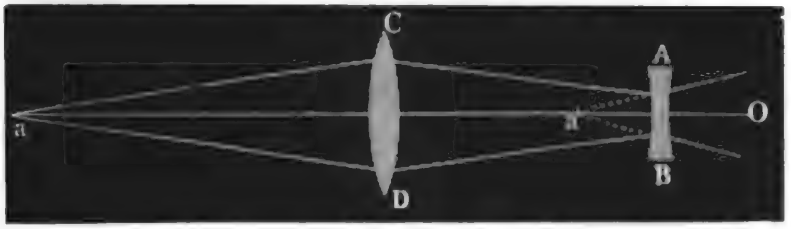
Während die Sammellinſe parallele Strahlen convergent macht, treten aus der Zerſtreuungslinſe mit der Axe parallel einfallende Strahlen divergent aus, und divergent auffallende Strahlen werden durch dieſelbe noch ſtärker divergent. Befindet ſich daher vor derſelben ein leuchtender Punkt a, Fig. 128, ſo werden die von demſelben auf die Linſe fallenden Strahlen ſo gebrochen, als wenn ſie von einem derſelben näher liegenden Punkte a′ ausgegangen wären, und ein in der Richtung dieſer Strahlen befindliches Auge erblickt daher in a′ ein Bild des leuchtenden Punktes a.

(Fig. 128.)



Wenn eine Sammellinſe CD und eine Zerſtreuungslinſe AB, ſo mit einander verbunden werden, wie dieß Fig. 129 zeigt, ſo können die Licht-

(Fig. 129.)



ſtrahlen, welche von einem entfernten, leuchtenden Punkte a auf die Sammellinſe CD fallen und von derſelben gebrochen werden, mit ſo ſchwacher Convergenz auf die Zerſtreuungslinſe AB fallen, daß ſie in Folge der Brechung durch dieſe Linſe divergirend aus derſelben austreten und ihre rückwärts fortgeſetzten Verlängerungen ſich in einem vor dieſer Linſe liegenden Punkte a′ durchſchneiden. Ein an der andern Seite der Linſe AB in der Richtung der austretenden Strahlen befindliches Auge wird daher in a′ ein Bild des leuchtenden Punktes a erblicken, und ebenſo wird ſich von einem ganzen

(Fig. 130.)

Gegenſtande ab, Fig. 130, einem vor dem concaven Oculare befindlichen Auge ein aufrechtes Bild a′b′ zeigen.

Das ſoeben beſchriebene Fernrohr iſt zuerſt in Holland ums Jahr 1600 und bald darauf von Galilei, welcher hiervon eine Nachricht erhalten hatte, erfunden worden. Ein von dieſem verfertigtes Fernrohr gewährte eine 33malige Vergrößerung und ließ ihn die vier Monde des Jupiters, den Ring des Saturn und Flecken in der Sonne entdecken. Die Einrichtung des aſtronomiſchen Fernrohrs aber iſt 1611 von Keppler angegeben worden.

Digitized by Google

Achromatismus.

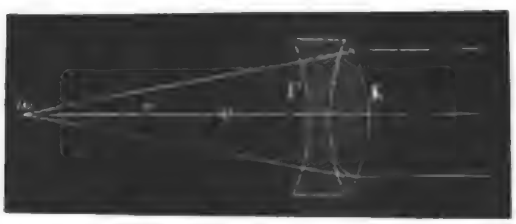
Bis zum Jahre 1755 erlitten die Leistungen der Fernröhre eine nicht wohl zu beseitigende Beschränkung durch den Umstand, daß mit jeder Brechung zugleich eine Farbenzerstreuung verbunden ist. Sollen die durch das Objectiv eines Fernrohrs erzeugten Bilder die erforderliche Deutlichkeit besitzen, so müssen die von einem Punkte ausgehenden und auf das Objectiv fallenden Strahlen nach der Brechung durch dasselbe wieder in einen Punkt vereinigt werden. Die Erfüllung dieser Bedingung erscheint um so unerläßlicher, da die Bilder noch durch das Ocular, als Vergrößerungsglas, betrachtet werden, also jeder Fehler derselben sich im vergrößerten Maaße zeigt. Indem aber die das weiße Licht zusammensetzenden verschiedenfarbigen Strahlen eine ungleiche Brechbarkeit besitzen, die violetten am stärksten, die rothen am schwächsten gebrochen werden, ist es ganz unmöglich, daß diese Strahlen nach der Brechung durch eine Linse sich sämmtlich in einem Punkte vereinigen; der Vereinigungspunkt der violetten, als der am stärksten brechbaren Strahlen, wird offenbar am nächsten, der Vereinigungspunkt der am schwächsten brechbaren, rothen Strahlen aber am fernsten von der Linse zu liegen kommen.

Wenn wir zu einer Sammellinse eine Zerstreuungslinse hinzufügen, so wird durch diese Combination, da beide Linsen auf die Lichtstrahlen im entgegengesetzten Sinne wirken, die Farbenzerstreuung, aber auch zugleich die Brechung vermindert werden, und wenn beide Linsen aus der nehmlichen Substanz bestehen, so wird erst dann, wenn beide gleich starke entgegengesetzte Krümmungen besitzen, die Farbenzerstreuung, aber zugleich auch die Brechung, also überhaupt die beabsichtigte Wirkung, aufgehoben sein.

An jeder durchsichtigen Substanz haben wir das Brechungsvermögen und das Dispersionsvermögen zu unterscheiden. Dieses letztere Vermögen bezieht sich auf die Ungleichheit der Brechung, welche die violetten, und der Brechung, welche die rothen Strahlen erleiden. Wenn wir uns an die Newton'schen Versuche über die Farbenzerstreuung erinnern, so hängt von dem Brechungsvermögen einer Substanz die Ablenkung, welche das prismatische Farbenbild von seiner ursprünglichen Stelle erfährt, von dem Zerstreuungsvermögen aber die Ausdehnung, welche es in die Länge erleidet, ab.

Wenn bei allen durchsichtigen Substanzen, wie man nach den ältern unvollständigen Beobachtungen glaubte, das Brechungs- und Zerstreuungsvermögen in einem gleichen Verhältnisse zu einander stände, so würde es gar nicht möglich sein, eine achromatische Linse herzustellen, d. h. eine Linse, welche das Licht bricht, ohne es zu zerstreuen. Glücklicher Weise aber giebt es, wie spätere Untersuchungen gelehrt haben, Substanzen, bei denen beide Vermögen zu einander in einem sehr ungleichen Verhältnisse stehen. So haben z. B. Kron- oder Spiegelglas und Flintglas, bleihaltiges Glas, ein fast gleiches Brechungsvermögen; das letztere aber zerstreut die Farben in einem viel stärkeren Verhältnisse.

(Fig. 131.)



Mit Benutzung dieses glücklichen Umstandes ist es dem Engländer Dollond zuerst 1755 gelungen, eine achromatische Linse herzustellen. Ist nehmlich K, Fig. 131, eine Sammellinse von Kronglas, welche für sich allein die auf dieselbe fallenden rothen

Strahlen in r, die violetten in v vereinigen würde, so wird durch Hinzufügung einer Zerstreuungslinse F sowohl der Vereinigungspunkt der einen, als der anderen Strahlen weiter hinausgerückt werden, diese Fortschiebung aber für die stärker brechbaren violetten Strahlen mehr, als für die schwächer brechbaren rothen betragen. Bei einem richtigen Krümmungsverhältnisse beider Linsen wird es daher geschehen können, daß diese Vereinigungspunkte in den nehmlichen Punkt w zusammenfallen, und daß folglich hier wieder weißes Licht entsteht.

Wenn Flintglas mit dem Kronglase gleiches Zerstreuungsvermögen besäße, so würde dieses erst dann eintreten, wenn die Flintglaslinse ebenso starke concave Krümmungen hätte, als die Kronglaslinse convexe Krümmungen hat. Da aber das Flintglas das Licht viel stärker, als Kronglas zerstreut, so wird, um die Farbenzerstreuung aufzuheben, die concave Flintglaslinse beträchtlich schwächere Krümmungen, als die convexe Kronglaslinse haben müssen. Da aber beide Glasarten das Licht ziemlich gleich stark brechen, so wird durch die schwächer gekrümmte concave Flintglaslinse die durch die stärker gekrümmte convexe Kronglaslinse bewirkte Brechung zwar vermindert, aber nicht aufgehoben sein. Wir erhalten also durch die Combination der schwächer gekrümmten concaven Flintglaslinse mit der stärker gekrümmten convexen Kronglaslinse eine das Licht brechende, aber nicht zerstreuende Linse.

Man begreift leicht, daß der beabsichtigte Zweck sich nicht blos durch die angegebene, sondern auch durch andere Combinationen, z. B. durch die Combination zweier convexen Kronglaslinsen, mit einer concaven Flintglaslinse, wie dies Fig. 132 zeigt, erreichen läßt.

(Fig. 132.)

Mit Benutzung von Dollond's Erfindung sind besonders durch Frauenhofer und Utzschneider die Fernröhre ihrer gegenwärtigen Vollkommenheit entgegengeführt worden. Der in dem optischen Institute bei München durch Frauenhofers Nachfolger, Merz, für die Sternwarte bei Petersburg angefertigte Refractor — größere nur aus Linsen zusammengesetzte Fernröhre führen diesen Namen — hat ein Objectiv von 14 Zoll Durchmesser und 21 Fuß Brennweite und gewährt eine 2000malige Vergrößerung. Wir müssen jedoch bemerken, daß in unseren Klimaten die Atmosphäre nur selten eine solche Reinheit besitzt, um eine mehr als tausendmalige Vergrößerung zuzulassen.

Der Ausführung noch größerer Fernröhre steht besonders die Schwierigkeit entgegen, vollkommen gleichförmige, von allen Wolken und Streifen gänzlich freie Glasmassen von hinreichender Größe herzustellen. Größere geschmolzene Massen erfordern natürlich zu ihrer Abkühlung längere Zeit; geschmolzenes Glas nimmt aber bei langsamem Erkalten ein krystallinisches Gefüge an, wodurch seine Fähigkeit, dem Lichte nach allen Richtungen einen gleichen Durchgang zu gestatten, beeinträchtigt wird.

Der Hohlspiegel.

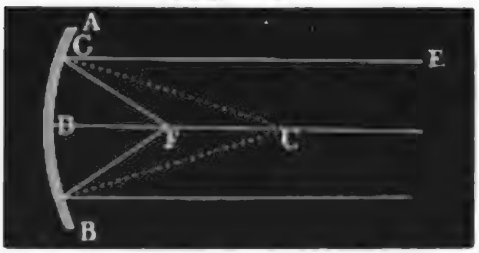
Vor Dollond's Entdeckung ließen die Fernröhre wegen der durch das Objectiv bewirkten Farbenzerstreuung nur eine schwache Vergrößerung zu. Diesen Mangel zu beseitigen, wendete man statt der Sammellinsen Hohlspiegel als Objective an, indem ein Hohlspiegel, eben so wie eine Sammellinse, von einem fernen Gegenstande ein verkleinertes und verkehrtes, aber von der Farbenzerstreuung natürlich gänzlich freies Bild erzeugt. Da Hohlspiegel jedoch eine weit seltenere Anwendung finden, so werden unsere Leser wahrscheinlich nicht erwarten, daß wir dieselben mit der nehmlichen Ausführlichkeit,

Digitized by Google

wie die Sammellinse, behandeln. Wir beschränken uns daher auf folgende Andeutungen.

Wenn auf einen Hohlspiegel AB, Fig. 133, ein Lichtstrahl EG parallel mit der Axe CD auffällt, und wir verbinden den Punkt G, in welchem derselbe den Spiegel trifft, mit dem Mittelpunkte C, so stellt der Radius CG, da er auf der durch G an den Kreisbogen zuziehenden Tangente senkrecht steht, das Einfallsloth vor. Wenn wir daher Winkel FGC gleich EGC machen, so ist GF der zurückgeworfene Strahl. Der mit der Axe parallel einfallende Strahl EG wird also von dem Spiegel so zurückgeworfen, daß er die Axe in einem Punkte F durchschneidet. Ebenso durchschneiden auch alle andern mit der Axe parallel und in nicht zu großem Abstande von derselben auf den Hohlspiegel fallenden Strahlen nach der Zurückwerfung die Axe, wenn auch nicht genau, doch sehr nahe in dem nehmlichen Punkte F, welcher der Brennpunkt des Spiegels genannt wird.

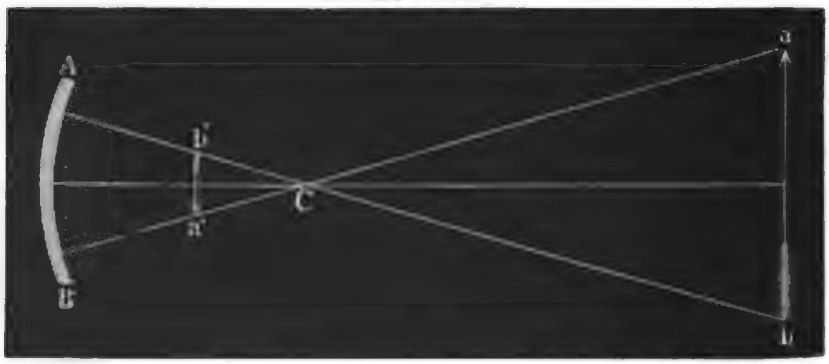
(Fig. 133.)



Der Hohlspiegel macht also durch Reflexion, ebenso wie die Sammellinse durch Brechung parallel mit der Axe auffallende Strahlen convergent, so daß dieselben die Axe in einem Punkte, dem Brennpunkte, durchschneiden, und umgekehrt werden, wenn im Brennpunkte F sich ein leuchtender Punkt befindet, die von derselben auf den Spiegel (oder die Linse) fallenden divergenten Strahlen durch die Zurückweisung (oder Brechung) zur Axe parallel. Wenn aber Strahlen von einem ferneren Punkte, also mit schwächerer Divergenz auf den Spiegel oder die Linse fallen, so werden dieselben ebenso durch die Zurückweisung von dem Spiegel convergent, als dies bei der Brechung durch die Linse der Fall ist.

Von einem fernen Gegenstande ab, Fig. 134, giebt daher der Hohl-

(Fig. 134.)

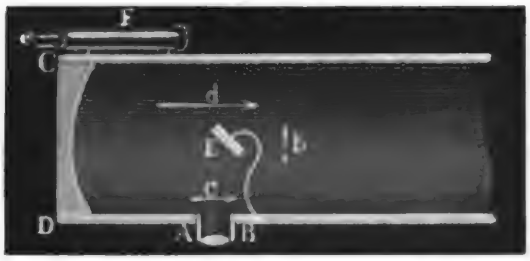


spiegel, ebenso wie die Sammellinse, ein umgekehrtes und verkleinertes Bild in der Nähe des Brennpunktes.

Das Spiegeltelescop.

Vermöge dieser Eigenschaft läßt sich auch die Sammellinse als Objectiv im Fernrohre durch einen Hohlspiegel ersetzen. Fernröhre, bei denen dieses der Fall ist, werden gewöhnlich Telescope oder Reflectoren genannt. Eine der gebräuchlichsten Einrichtungen ist die des Spiegeltelescopes von Newton. Die von einem fernen Gegenstande auf den Hohlspiegel CD, Fig. 135, fallen-

(Fig. 135.)



den Strahlen werden von demſelben ſo zurückgeworfen, daß ſie in der Nähe des Brennpunktes ein verkehrtes Bild b erzeugen würden; ehe ſie ſich jedoch zu dieſem vereinigen, treffen ſie auf den unter 45^0 gegen die Axe des Inſtrumentes geneigten Planſpiegel E, von welchem die convergent auffallenden Strahlen convergent zurückgeworfen werden, wie wir Aehnliches ſchon bei der Camera obſcura beſprochen haben, ſo daß dieſes Bild nicht hinter, ſondern vor dem Spiegel nach c hinfällt, wo es durch eine in der Seitenwand des Teleſcopes angebrachte Ocularlinſe für das vor derſelben befindliche Auge in die deutliche Sehweite nach d hinausgerückt und vergrößert wird.

Da man bei dieſen Inſtrumenten ſeitwärts hineinſieht, ſo würde es ſchwierig ſein, daſſelbe auf einen beſtimmten Gegenſtand zu richten. Zu dieſem Zwecke iſt mit demſelben ein gewöhnliches, aber kleineres Fernrohr F verbunden, deſſen Axe der Axe des Teleſcopes parallel iſt, ſo daß ein ferner Gegenſtand, z. B. ein Stern, zugleich in dem Teleſcope erſcheint, wenn das Fernrohr auf denſelben gerichtet iſt.

Spiegelteleſcope werden bei aſtronomiſchen Beobachtungen beſonders dann angewendet, wenn man eine ſehr ſtarke Vergrößerung und eine bedeutende Lichtſtärke zu erhalten beabſichtigt. Berühmt ſind insbeſondere die Beobachtungen, welche der ältere Herſchel in der zweiten Hälfte des achtzehnten Jahrhunderts mit einem Spiegelteleſcope von der oben angegebenen Errichtung angeſtellt hat. Der Spiegel dieſes Inſtruments hatte $1^1/_2$ Fuß Durchmeſſer und 20 Fuß Brennweite. Die ſtärkſte Vergrößerung betrug 2000. Bei dem größten von Herſchel ausgeführten Inſtrumente, welches eine etwas andere Einrichtung hatte und eine faſt 7000malige Vergrößerung zuließ, verlor der Spiegel, indem er ſich in einer kühlen Nacht mit Dunſt überzog und oxydirte, ſehr bald ſeine Brauchbarkeit. Ueberhaupt iſt der Gebrauch der Spiegelteleſcope, da Metallſpiegel leicht ihre Politur verlieren, — Glasſpiegel ſind wegen der doppelten Bilder, welche ſie geben, ganz unzuläſſig, — ein viel beſchränkterer, als der der Refraktoren.

Herſchel entdeckte durch ſein Inſtrument unter andern den Planeten Uranus nebſt ſeinen Trabanten und die beiden Trabanten des Saturn, welche demſelben am nächſten und daher am ſchwierigſten zu beobachten ſind.

In neuerer Zeit hat Lord Roſſe bei Dublin ein Teleſcop aufgeſtellt, deſſen Spiegel 6 (engliſche) Fuß Durchmeſſer und über 50 Fuß Brennweite hat. In demſelben zeigen ſich viele Nebelflecke, welche bisher kein anderes Fernrohr aufzulöſen vermochte, als Haufen einzelner Sterne.

Das Stereoſcop.

Nachdem wir unſern Leſern die wichtigſten und nützlichſten optiſchen Inſtrumente vorgeführt haben, erwähnen wir noch kurz eines anderen optiſchen Inſtrumentes, welches gegenwärtig noch den Reiz der Neuheit hat und auch wirklich recht überraſchende Wirkungen gewährt. Wir meinen das ums Jahr 1838 von Wheatſtone erfundene Stereoſcop.

Die Theorie dieſes Inſtrumentes iſt im Weſentlichen folgende: Wenn wir einen in unſerer Nähe befindlichen körperlichen Gegenſtand abwechſelnd

mit dem einen und dem andern Auge betrachten, so muß der Anblick desselben sich für das eine und das andere Auge etwas verschieden gestalten. Halten wir z. B. einen Kegel dem Gesichte so gegenüber, daß die Spitze desselben gegen die Spitze der Nase gerichtet ist und die Grundfläche des Kegels der Linie, welche die beiden Augen verbindet, parallel ist, so erscheint, wenn wir den Kegel mit dem rechten Auge betrachten, die Spitze etwas links von der Mitte der Grundfläche; sie zeigt sich dagegen rechts, wenn wir den Kegel mit dem linken Auge ansehen, indem wir das rechte schließen.

Wenn wir daher einen nahen Gegenstand abzeichnen, so muß die Zeichnung verschieden ausfallen, je nachdem wir sie für das eine oder andere Auge entwerfen. Es ist gar nicht möglich, eine für beide Augen passende Zeichnung auszuführen. Es läßt sich daher auch durch eine in einer Ebene sich ausbreitende Zeichnung niemals der vollständige Eindruck des Körperlichen hervorbringen, welchen wir erhalten, wenn wir einen wirklichen Körper mit beiden Augen zugleich betrachten, da die Zeichnung, wenn sie für das eine Auge richtig entworfen ist, nicht auch zugleich für das andere paßt. Soll die Täuschung der Augen eine möglichst vollständige sein, soll der Eindruck möglichst demjenigen entsprechen, welchen der Anblick eines wirklichen Körpers gewährt, so sind hierzu zwei Zeichnungen erforderlich, von denen die eine für das rechte, die andere für das linke Auge entworfen ist, und welche in angemessener Lage gleichzeitig, aber jede nur mit dem Auge, welchem sie entspricht, betrachtet werden, und in der That ahmt dieser Anblick in höchst täuschender Weise den eines wirklich körperlichen Gegenstandes nach.

Auf diesen Prinzipien nun beruht das Stereoscop, welches, wie schon oben bemerkt, von Wheatstone zuerst erfunden worden ist, durch Brewster aber die folgende für den Gebrauch besonders bequeme Einrichtung erhalten hat:

In dem obern Boden eines kleinen, nur wenige Zoll hohen Kastens, Fig. 136, sind zwei Röhren angebracht, welche einander etwas genähert und von einander entfernt werden können, um sie gerade dem gegenseitigen Abstande der Augen anzupassen. In diesen Röhren befinden sich die beiden Hälften einer in der Mitte durchschnittenen und dann an den Rändern wieder rund geschliffenen Sammellinse, wie dieses, Fig. 137 a und b zeigt. Diese beiden Linsen dienen

(Fig. 136.)

(Fig. 137.)

dazu, jedes der beiden auf dem untern Boden des Kastens auszubreitenden Bilder in die passende Lage und Entfernung für das entsprechende Auge zu bringen. Zur Erleuchtung aber dieser Bilder ist an der gegen das Licht zu wendenden Seite des Kastens eine Klappe angebracht, welche sich emporschlagen läßt.

Die Wärme.

Wirkungen der Wärme.

Dem Lichte verdanken wir vorzugsweise die Kenntniß der uns umgebenden Körperwelt; die Einflüsse aber, welche es auf diese Körper selbst ausübt, besonders auf diejenigen, welche der unorganischen Natur angehören, sind, so viel uns hierüber bekannt, nur gering. Von der Wärme dagegen, mit welcher wir uns jetzt beschäftigen wollen, hängen wesentlich die verschiedenen Formen ab, unter denen die Naturkörper sich uns zeigen. Die Wärme ist die unerläßlichste Bedingung alles Lebens in der organischen Natur, und sie bewirkt in der anorganischen Natur die großartigsten und mannigfaltigsten Veränderungen. Sie ist die Hauptursache der Erschütterungen der festen Erdrinde und der Ausbrüche feuerspeiender Berge, sie giebt den Gewässern die freie Beweglichkeit und legt wiederum denselben unlösbare Fesseln an, sie ruft besonders in dem auf der Oberfläche der Erde liegenden Luftmeere die häufigsten Wechsel der mannigfaltigsten Erscheinungen, Winde und Wolken, Regen, Schnee und Hagel hervor. In der That, wir kennen keine andere Naturkraft, welche so vielfache und großartige Wirkungen erzeugt, welche auf die gesammte Natur, die organische, wie die anorgonische einen so wesentlichen Einfluß ausübt und so gewaltige Umwälzungen hervorbringt.

Während einerseits die Wärme über die ganze Natur mit einer unwiderstehlichen Gewalt herrscht, welcher selbst der Mensch mehr oder weniger unterworfen ist, gewährt dieselbe andererseits dem Menschen, in seinen Dienst genommen, den reichsten Nutzen. Durch die Wärme werden rohe Nahrungsstoffe in genießbare Speisen, spröde Erze in geschmeidige Metalle umgewandelt; ja, seit es gelungen ist, die Wärme selbst in Kraft umzuwandeln, verrichtet sie die schwersten Arbeiten für den Menschen und setzt ihn in den Stand, für seine eigene Kraft unüberwindliche Hindernisse zu besiegen.

Wenn von der Anwendung der Dampfkraft ebenso wie von der Erfindung des Schießpulvers oder der Entdeckung von Amerika eine neue Periode in der Geschichte des Menschengeschlechtes datiren wird, so dürfte die vielleicht in einer nicht fernen Zukunft zu gewinnende Lösung der entgegengesetzten Aufgabe, Umwandlung mechanischer Kraft in Wärme, für deren praktische Ausführbarkeit in neuester Zeit nicht unerhebliche Momente gewonnen worden sind, nicht minder wohlthätige Einflüsse auf die Verhältnisse der gesammten civilisirten Menschheit ausüben.

Trotz der großen Verschiedenheit zwischen den Wirkungen des Lichtes und der Wärme sehen wir doch beide, Licht und Wärme, häufig in inniger Verbindung, insbesondere in der lebhaften Entwickelung, welche wir Feuer nennen, zusammen auftreten. Ebenso werden wir weiterhin unsern Lesern zeigen, daß in vielen Fällen Licht und Wärme ganz dieselben Gesetze befolgen. Diese innige Verknüpfung und Uebereinstimmung zwischen Licht und Wärme läßt vermuthen, daß beide aus einer verwandten Quelle entspringen. Wiewohl nun alle bekannten Erscheinungen des Lichtes ihre vollständige Erklärung in der Vibrationshypothese finden, so ist doch die Wissenschaft bis

Digitized by Google

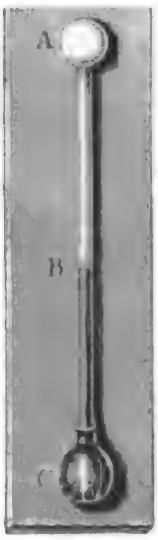
jetzt noch nicht dahin gelangt, auch die so höchst mannigfaltigen Erscheinungen der Wärme sämmtlich aus einem alle umfassenden Prinzipe herzuleiten.

Da es uns also zur Zeit noch an einer für alle Erscheinungen ausreichenden Erklärung fehlt, so werden wir uns darauf beschränken, die wichtigsten dieser Erscheinungen und die Gesetze, welche dieselben befolgen, unsern Lesern vorzuführen.

Die Wärme selbst vermögen wir nicht wahrzunehmen; wir schließen nur aus den Wirkungen derselben auf das Vorhandensein dieses Agens in der Natur. Zwei Wirkungen aber sind es, welche die Wärme hauptsächlich äußert: Ausdehnung der Körper und Aenderung des Aggregatszustandes derselben. Auf der ersteren Wirkung beruht zugleich das Instrument, welches zum Abmessen der Wärme dient, das Thermometer.

Das Thermometer.

(Fig. 138.)



Dieses höchst nützliche Instrument, vielleicht die wichtigste und am häufigsten angewendete physikalische Vorrichtung überhaupt, soll ums Jahr 1600 von Cornelius Drebbel in Holland erfunden worden sein.

Wir machen unsere Leser auf das merkwürdige Jahr 1600 aufmerksam, von welchem ebenfalls, wie wir oben gesehen haben, die Entdeckung der Gesetze des Falles und der Pendelschwingungen durch Galilei und die Erfindung der Fernröhre und Mikroscope datirte, und dem wir auch weiterhin noch begegnen werden.

Das Thermometer von Drebbel bestand aus einer gläsernen Röhre, welche sich oben in eine Kugel A, Fig. 138, erweiterte, im obern Theile mit Luft, im untern Theile B aber mit einer Flüssigkeit gefüllt war und mit dem untern Ende in ein mit der nehmlichen Flüssigkeit gefülltes Gefäß C tauchte. Neben der Röhre befand sich eine in willkührliche Grade getheilte Scale, welche das Steigen und Fallen der Flüssigkeit in der Röhre bei B anzeigte, je nachdem die Luft in der Kugel A und dem obern Theile der Röhre in Folge vermehrter oder verminderter Wärme sich ausdehnte oder zusammenzog. Eine Erhöhung der Temperatur bewirkte also in Folge der Ausdehnung der Luft ein Fallen, eine Erniedrigung der Temperatur dagegen ein Steigen der Flüssigkeit in der Röhre.

Können wir es einerseits als merkwürdig hervorheben, daß Drebbel als thermoscopische Substanz die Luft, also gerade denjenigen Körper wählte, welcher, wie wir weiterhin sehen werden, sich für diesen Zweck am allerbesten eignet, indem die Luft sowohl die flüssigen, als auch die festen Körper in der Größe und Gleichförmigkeit der Ausdehnung übertrifft, so litt andererseits Drebbel's Instrument an so wesentlichen Mängeln, daß wir heut zu Tage den Namen Thermometer, Wärmemesser, demselben gar nicht, kaum den Namen Thermoscop, Wärmeanzeiger, beilegen würden. Die Flüssigkeit in der Röhre bei B mußte nehmlich nicht blos dann fallen, wenn die in der Kugel und dem oberen Theile der Röhre eingeschlossene Luft in Folge vermehrter Wärme sich ausdehnte, sondern auch dann, wenn der Druck, welchen die äußere Luft auf die Flüssigkeit im Gefäße C ausübte, zunahm und so über den Druck der abgesperrten Luft das Uebergewicht erhielt. Der wesentlichste Mangel des Instrumentes von Drebbel bestand aber darin, daß dasselbe gänzlich der festen Punkte entbehrte.

Digitized by Google

Denn wenn auch unter der Voraussetzung, daß der Luftdruck sich nicht erheblich geändert hat, Drebbel's Instrument dazu dienen konnte, eine Zu- oder Abnahme der Wärme anzuzeigen, so fand doch zwischen zwei in der beschriebenen Weise angefertigten Instrumenten keine Uebereinstimmung statt; jedes derselben führte vielmehr seine eigne Sprache; die Angabe der Temperatur nach dem einen stimmte nicht mit der nach dem andern überein.

Die ersten wesentlichen Verbesserungen erfuhr das Thermometer durch die Mitglieder der Akademie in Florenz. Das Thermometer derselben näherte sich in seiner äußern Einrichtung schon mehr den gegenwärtig gebräuchlichen. Es bestand nehmlich aus einer engen gläsernen Röhre, welche oben geschlossen war und sich unten in eine Kugel erweiterte. Die Kugel und ein Theil der Röhre waren mit Weingeist gefüllt. — Man wendet jedoch gegenwärtig zur Füllung der Thermometer gewöhnlich nicht Weingeist, sondern Queckſilber an, aus Gründen, welche wir weiter unten kennen lernen werden.

Die Florentiner Thermometer hatten vor denen von Drebbel den wesentlichen Vorzug, daß der Gang derselben nur von der Temperatur abhing und nicht auch zugleich durch den Luftdruck bedingt wurde. Die Eintheilung litt aber noch an wesentlichen Mängeln; dieselbe hatte nur einen festen Punkt, als welchen man die Temperatur eines tiefen Kellers bei Florenz annahm, welche das ganze Jahr hindurch ziemlich dieselbe blieb. Im Uebrigen wurde die Scala nach einem Normalthermometer regulirt. Auf diese Art wurden nun zwar ziemlich übereinstimmende Thermometer erhalten; allein dieselben konnten lediglich aus Florenz hervorgehen, aber an keinem andern Orte der Welt angefertigt werden.

Erst spätern Physikern, besonders Fahrenheit in Danzig und Réaumur in Frankreich, gebührt das Verdienst, die Eintheilung des Thermometers auf zwei feste Punkte, welche an allen Orten aufgefunden werden können und sich zu allen Zeiten als die nehmlichen ergeben, gegründet zu haben. Diese beiden festen Punkte sind der Schmelzpunkt des Eises und der Siedepunkt des Wassers. Der erstere wird gefunden, indem man das Thermometer in schmelzenden Schnee oder schmelzendes Eis, der andere, indem man dasselbe in siedendes Wasser oder noch zweckmäßiger in den Dampf siedenden Wassers bringt.

Fahrenheit theilte den Zwischenraum zwischen beiden Punkten in 180 gleiche Theile, schrieb aber beim Eispunkt nicht Null, sondern 32 Grad, folglich beim Siedepunkt 212 Grad, indem er die in dem Winter des Jahres 1709 erlebte Kälte, bei welcher das Thermometer 32 Fahrenheit'sche Grade ($17\frac{7}{9}$ Centesimalgrade) unter die Temperatur des Eispunktes herabging, als die möglich größte Kälte ansah. Réaumur dagegen schrieb an den Eispunkt Null, an den Siedepunkt 80 und theilte demgemäß den Abstand zwischen beiden Punkten in 80 gleiche Theile, wegen des zufälligen Umstandes, daß der Weingeist, welchen er zur Füllung seiner Thermometer anwendete, bei einer Erwärmung vom Eispunkt bis zum Siedepunkt sich um 80 Tausendtel seines Volumens ausdehnte. Celsius in Upsala wendete 1742 die zweckmäßigste und natürlichste Eintheilung für den Abstand zwischen dem Eis- und Siedepunkt in 100 gleiche Theile an. Leider sind in Deutschland noch Thermometer mit der Eintheilung nach Réaumur, in England mit der Theilung nach Fahrenheit sehr gebräuchlich.

Digitized by Google

Bei allen drei Eintheilungen pflegt man die Grade über Null mit (+) Plus, die Grade unter Null mit (—) Minus zu bezeichnen. — Zur bequemen Vergleichung der drei Scalen fügen wir hier eine kleine Tabelle bei.

Celsius.	Réaumur.	Fahrenheit.	Celsius.	Réaumur.	Fahrenheit.
—30	—24	—22	+40	+32	+104
25	20	13	45	36	113
20	16	4	50	40	122
15	12	+ 5	55	44	131
10	8	14	60	48	140
5	4	23	65	52	149
0	0	32	70	56	158
+ 5	+ 4	41	75	60	167
10	8	50	80	64	176
15	12	59	85	68	185
20	16	68	90	72	194
25	20	77	95	76	203
30	24	86	100	80	212
35	28	95			

Bei der großen Wichtigkeit des Thermometers und der vielfachen Anwendung, welche dasselbe findet, können wir nicht umhin, noch Einiges über die Erfordernisse eines richtigen Thermometers zu bemerken.

Die Röhre muß überall gleiche Weite, gleiches Caliber, haben. Man überzeugt sich hiervon, indem man vor der Füllung einen Tropfen Quecksilber in die Röhre treten läßt, welcher sich in derselben zu einem kleinen Säulchen verlängert. Indem man dieses in der Röhre von einem Ende nach dem andern hingleiten läßt, mißt man zugleich, ob dasselbe überall eine gleiche Länge behält, also die Röhre überall gleiche Weite hat. Nur diejenigen Röhren, welche diese Bedingung erfüllen, werden unter einer großen Menge ausgewählt und zur Anfertigung von Thermometern benutzt.

Man füllt dieselben mit Quecksilber, weil zwischen den beiden Fundamentaltemperaturen, dem Eispunkte und dem Siedepunkte, die Ausdehnung des Quecksilbers fast genau mit der Ausdehnung der Luft übereinstimmt, von welcher man aus gleich zu erörternden Gründen annimmt, daß sie dem wahren Gange der Wärme gemäß erfolgt.

Feste und flüssige Körper dehnen sich weder gleich stark, noch gleichförmig aus; sie zeigen besonders in der Nähe ihres Schmelz- und ihres Siedepunktes, also da, wo sie sich dem Uebergange in einen andern Aggregatszustand nähern, ein sehr unregelmäßiges Verhalten. Da nun bei den permanenten Gasen durch Erhöhung oder Erniedrigung der Temperatur keine Aenderung des Aggregatszustandes herbeigeführt wird, also dieser Grund der Unregelmäßigkeit wegfällt, da überdieß alle Gase sich bei einer gleichen Temperaturerhöhung um eine fast gleiche Größe ausdehnen, so nimmt man eben diese Ausdehnung als das wahre Maaß der Wärme an.

Das richtigste, das eigentliche Normalthermometer, ist demzufolge das Luftthermometer; die Angaben anderer Thermometer, Quecksilber-, Weingeist-, Metallthermometer u. dgl. m., gelten nur in so weit als richtig, als sie mit dem Luftthermometer übereinstimmen.

Das Luftthermometer besteht in der einfachsten Einrichtung aus einer in eine Kugel ausgeblasenen, mit Luft gefüllten Thermometerröhre, in welcher

Digitized by Google

(Fig. 139.)

sich zur Absperrung der Luft, etwa bei a, Fig. 139, ein kleines Quecksilbersäulchen befindet, dessen Steigen oder Fallen die Ausdehnung oder Zusammenziehung der abgesperrten Luft anzeigt. Neben der Röhre ist natürlich eine Scale angebracht, an welcher die Fundamentalpunkte in der oben angegebenen Weise bestimmt worden sind.

Da die Röhre oben offen ist, so hängt der Stand des Quecksilbersäulchens in der Röhre nicht blos von der Temperatur, sondern auch von dem äußern Luftdrucke ab. Es können daher die Temperaturangaben dieses Instrumentes nur bei einem bestimmten Barometerstande unmittelbare Giltigkeit haben; für jeden höhern oder niedrigern Barometerstand erfordern dieselben erst eine Correction wegen des abweichenden Luftdruckes.

Wegen dieser Unbequemlichkeit macht man von dem Luftthermometer nur selten Gebrauch. Man hat aber dasselbe vorzüglich zur Controlirung anderer Thermometer, besonders der mit Quecksilber oder Weingeist gefüllten Thermometer benutzt. Da man nun gefunden hat, daß das Quecksilberthermometer zwischen 25 Grad unter und 200 Grad über Null in seinen Angaben fast genau mit dem Luftthermometer übereinstimmt, so bedient man sich zur Abmessung von Temperaturen, welche innerhalb dieser Grenzen liegen, des Quecksilberthermometers, weil dasselbe für den Gebrauch unvergleichlich bequemer ist, als das Luftthermometer.

Das Quecksilber siedet erst bei 360 Grad, aber es geht schon bei 39 Grad unter Null in den festen Zustand über. Das Quecksilberthermometer verliert daher für hohe Kältegrade seine Brauchbarkeit und wird dann gewöhnlich durch das Weingeistthermometer ersetzt, indem reiner Spiritus, sogenannter absoluter Alkohol, auch in den höchsten Graden künstlicher Kälte noch flüssig bleibt.

Von der größten Wichtigkeit für die Richtigkeit eines Thermometers ist die Bestimmung der beiden festen Punkte. Obschon der Frierpunkt des Wassers und der Schmelzpunkt des Eises, d. h. diejenige Temperatur, bei deren Erhöhung das feste Eis schmilzt, und diejenige Temperatur, bei deren Erniedrigung das flüssige Wasser fest wird, im Wesentlichen in Eins zusammenfallen, so hat man doch den Nullpunkt des Thermometers nicht im frierenden Wasser, sondern im schmelzenden Eise oder Schnee zu bestimmen, indem Wasser, wenn es gegen jede Erschütterung geschützt wird, bis mehrere Grade unter Null erkalten kann. Wir werden weiter unten auf diese Erscheinung zurück kommen. Dagegen ist die Temperatur des schmelzenden Eises oder Schnees eine durchaus beständige, unter allen Umständen dieselbe.

Nicht in gleichem Maaße, wie der Eispunkt, kann der Siedepunkt als ein fester Punkt gelten, indem die Siedetemperatur des Wassers vom Luftdrucke abhängt; dasselbe siedet nehmlich bei geringerem Luftdrucke bei einer niedrigeren Temperatur, als bei größerem Luftdrucke. Wenn das Barometer von 28 Zoll um einen Zoll steigt oder fällt, so erhöht oder erniedrigt sich der Siedepunkt ohngefähr um einen Grad. Um genau übereinstimmende Thermometer zu erhalten, muß man daher den Siedepunkt für alle bei dem nehmlichen Barometerstande, etwa 28 Zoll, bestimmen; oder der Künstler bemerkt auf der Rückseite des Thermometers den Barometerstand, bei welchem der Siedepunkt bestimmt worden ist, und überläßt dem Physiker, welcher sich dieses Instrumentes bedienen will, die erforderliche Correction anzubringen.

Digitized by Google

Pyrometer. Das bisher besprochene Thermometer kann offenbar nur für mäßige Temperaturgrade gebraucht werden; es verliert seine Richtigkeit für Temperaturen, in deren Nähe das Quecksilber siedet, und es wird gänzlich unanwendbar für solche Hitzegrade, in denen das Glas schmilzt. Ueberhaupt ist die Abmessung hoher Hitzegrade mit großer Schwierigkeit verbunden, und doch ist die Kenntniß derselben sowohl in wissenschaftlicher, als in technischer Hinsicht in vielen Fällen von Wichtigkeit. Die hierzu dienenden Vorrichtungen führen den Namen Pyrometer. Wir führen deren zwei an: Bei dem einen sind zwei Stäbe von Metall, welche sich in der Wärme ungleich ausdehnen, an dem einen Ende mit einander fest verbunden. Beide Stäbe haben bei einer bestimmten niedrigen Temperatur eine gleiche Länge; bei höheren Temperaturen ragt das stärker ausdehnsame um so mehr über das andere hervor, je höher die Temperatur ist.

Ein zweites Pyrometer besteht aus einem hohlen kugelförmigen Gefäße von Platin, welches mit einer feinen Oeffnung versehen ist. Wird dieses Gefäß in einen erhitzten Raum gebracht, so entweicht ein Theil der in dem Gefäße enthaltenen Luft in Folge der Ausdehnung derselben durch die feine Oeffnung. Um diese Luftmenge zu messen, wird das Gefäß rasch mit nach unten gekehrter Oeffnung unter Wasser abgekühlt. Aus dem Gewichte des eingedrungenen Wassers ergiebt sich die Menge der Luft, welche durch die Ausdehnung desselben in der Hitze ausgetrieben worden ist, und hieraus der Temperaturgrad, da, wie schon früher bemerkt, die Ausdehnung der Luft der Temperatur proportional erfolgt.

Die Ausdehnung der Körper durch die Wärme hat uns die Mittel zur Abmessung der Wärme dargeboten. Thermometer und Pyrometer beruhen auf dieser Eigenschaft der Wärme. Außerdem sind eine Menge Erscheinungen, welche uns die Erfahrungen des täglichen Lebens, so wie die Naturprozesse im Großen darbieten, eine Folge dieser Ausdehnung, von welcher wir nun noch weiter handeln wollen.

Ausdehnung der festen und flüssigen Körper durch die Wärme. Am schwächsten dehnen sich die festen Körper durch die Wärme aus. Ein Eisenstab z. B. verlängert sich bei einer Erwärmung von Null bis 100 Grad um nicht viel mehr, als ein Tausendtel seiner Länge. So gering auch diese Ausdehnung erscheint, so macht sich dieselbe doch in vielen Fällen bemerklich. Ein Bolzen, welcher in das Plätteisen bei gewöhnlicher Temperatur eben paßt, geht in dasselbe nicht mehr hinein, wenn er glüht; der um das hölzerne Rad gelegte glühende eiserne Reifen schließt sich dicht an dasselbe an, indem er sich bei der Abkühlung zusammenzieht, eine Erscheinung, welche unsere Schmiede mit Vortheil zur Befestigung des eisernen Reifens an dem hölzernen Rade benutzen; die Schienen auf der Eisenbahn dürfen bei der gewöhnlichen Lufttemperatur nicht dicht an einander schließen, sondern müssen einen kleinen Zwischenraum zwischen sich lassen, weil sie ohnedieß in Folge der Ausdehnung bei höherer Temperatur sich krümmen würden, u. dgl. m.

Weit beträchtlicher, als die festen, werden die flüssigen Körper durch die Wärme ausgedehnt. Quecksilber vergrößert bei einer Erwärmung von Null bis 100 Grad sein Volumen ohngefähr um $^1/_{55}$, Wasser um $^1/_{22}$.

Abweichendes Verhalten des Wassers zwischen 0° und 4°. Eine höchst merkwürdige Abweichung jedoch von dem Verhalten anderer Flüssigkeiten zeigt das Wasser bei dem Uebergange aus dem festen in den flüssigen Zustand. Während z. B. Quecksilber beim Erstarren sich zusammenzieht, daher festes Quecksilber in flüssigem, eben so festes Blei in geschmol-

Digitized by Google

zenem u. dgl. m. zu Boden sinkt, ist dagegen Eis leichter, als Wasser und schwimmt auf demselben. Bei Null Grad ist das specifische Gewicht des Eises, wenn dasselbe frei von Luftblasen ist, ohngefähr um $^1/_{14}$ geringer, als das des Wassers. Ein Würfel von Eis von 14 Zoll Höhe würde also aus dem Wasser ohngefähr um einen Zoll hervorragen.

Die Ausdehnung des Wassers tritt indeß nicht erst bei dem Erstarren zu Eis ein; sie beginnt schon bei 4 Grad über Null. Wenn Wasser von der höchsten Temperatur, die es bei gewöhnlichem Luftdrucke anzunehmen vermag, von 100 Grad bis zu 4 Grad abgekühlt wird, so folgt es der gewöhnlichen Regel und zieht sich zusammen; wird dasselbe aber dann weiter von 4 Grad bis Null Grad abgekühlt, so zieht es sich jetzt nicht mehr zusammen, sondern dehnt sich im Gegentheile aus. Nach dem Uebergange in den festen Zustand folgt es als Eis, wenn es noch weiter unter Null erkältet wird, wieder der gewöhnlichen Regel; es zieht sich zusammen.

Ganz dem gemäß verhält sich auch das Eis und das Wasser bei der Erwärmung. Eis, welches eine Temperatur unter Null Grad hat, dehnt sich aus, wenn es bis Null Grad erwärmt wird; Wasser von Null Grad aber zieht sich bei der Erwärmung von Null bis 4 Grad zusammen, und bei weiterer Erwärmung über 4 Grad dehnt es sich wieder der allgemeinen Regel gemäß aus.

Dieses auffallende Verhalten des Wassers und Eises (und einiger anderen Körper, wie z. B. Wismuth) steht nicht bloß als eine Merkwürdigkeit da, für welche es zur Zeit noch an einer genügenden Erklärung fehlt; es ist dasselbe vielmehr auch von dem wesentlichsten Einflusse und Nutzen im Haushalte der Natur.

Wenn mit dem Ablauf des Sommers die Lufttemperatur sich vermindert, kühlen sich die Gewässer unserer Landseen und Teiche zunächst an der Oberfläche ab; die abgekühlte schwerere Schicht sinkt zu Boden und wird durch eine wärmere aus der Tiefe ersetzt, welche dann ebenfalls in der Berührung mit der kälteren Luft sich abkühlt, niedersinkt und durch eine wärmere aus der Tiefe ersetzt wird. Indem in Folge dieser fortwährenden Strömungen die gesammte Wassermasse mit der kälteren Luft in Berührung gebracht wird, schreitet die Abkühlung derselben, obschon das Wasser ein schlechter Wärmeleiter ist, mit der sich vermindernden Lufttemperatur rasch fort, aber nur bis zu 4 Grad. Ist nehmlich die Wärme des Wassers bis zu diesem Temperaturgrade herabgegangen, so zieht sich dasselbe bei noch weiterer Abnahme der Temperatur, wie wir oben gesehen haben, nicht mehr zusammen, dasselbe dehnt sich vielmehr aus, und die bis unter 4 Grad abgekühlte oberste Schicht bleibt jetzt, da sie leichter geworden ist, an der Oberfläche schwimmen und verwandelt sich, wenn ihre Temperatur bis Null Grad herabgegangen ist, in Eis, welches, ebenso wie das Wasser, ein sehr schlechter Leiter der Wärme ist und daher so wie die obersten auf 1, 2, 3 Grad abgekühlten, eben wegen ihres geringeren specifischen Gewichtes oben schwimmenden Wasserschichten, eine schützende Decke gegen das weitere Eindringen der Kälte in die untern Wasserschichten bildet, welche noch eine Temperatur von 4 Grad besitzen und deshalb am Boden lagern, weil Wasser von 4 Grad Temperatur am schwersten ist.

Auf diese Art finden in tiefen Gewässern auch bei strenger Winterkälte Fische und andere Wasserthiere eine zur Erhaltung ihres Lebens erforderliche Wärme vor. Dieselben würden dagegen ihrem Untergange verfallen sein,

Digitized by Google

wenn die Zusammenziehung des Wassers mit der Abnahme der Temperatur nicht bei 4, sondern erst bei Null Grad ihr Maximum erreichte. Die Abkühlung des Wassers würde dann nicht blos, wie oben angegeben, bei eintretender Winterkälte bis 4 Grad, sondern bis Null Grad rasch fortschreiten, an dem Boden würden, als die schwersten, nicht Schichten von 4 Grad, sondern von Null Grad lagern; es würde daher das Frieren von hier aus beginnen, und Teiche, Seen und Flüsse würden von Grund aus zufrieren.

Daß das Wasser beim Frieren sich ausdehnt, zeigt auch die Erfahrung, welche man nicht selten zu seinem eigenen Nachtheile zu machen Gelegenheit hat, daß verschlossene oder nach oben sich verengende Gefäße, wenn Wasser in denselben friert, zerrissen werden. Die Kraft, welche das frierende Wasser hierbei äußert, ist so stark, daß selbst feste Bomben durch dieselbe gesprengt werden. Es werden daher Bäume, Mauern, Felsen, in deren Spalten Wasser eingedrungen ist, häufig beim Frieren desselben im Winter auseinander gerissen; ebenso werden Pflastersteine, Thürschwellen u. dgl. durch den Frost gehoben. Nicht ohne Nutzen dagegen für die Fruchtbarkeit des Bodens dürfte die Auflockerung sein, welche derselbe beim Frieren im Winter erfährt.

Das oben über die Bildung des Eises Gesagte gilt jedoch zunächst nur von den stehenden Gewässern. Nur in diesen lagern sich die Schichten mit der Regelmäßigkeit, wie oben angegeben, nach Maßgabe ihrer Temperatur und Dichtigkeit übereinander, und nimmt die Eisbildung an der Oberfläche ihren Anfang. In Flüssen dagegen werden wegen der Strömung die kälteren und wärmeren Schichten beständig durch einander gemischt, und die Bildung des Eises nimmt in diesen hauptsächlich am Grunde ihren Anfang, theils weil hier die Strömung am schwächsten ist, theils weil die Eisnadeln, sowie alle Krystalle sich gern zuerst an feste Körper anlegen. Indem die sich allmählig vergrößernden Eiskrystalle vermöge ihres geringern specifischen Gewichtes durch das Wasser gehoben und vom Boden losgerissen werden, entsteht in den Flüssen die bekannte Erscheinung des sogenannten Grundeises, welches sich dagegen aus den oben erörterten Gründen niemals in Seen oder Teichen bilden kann.

Ausdehnung der luftförmigen Körper durch die Wärme.

Noch stärker, als die flüssigen Körper, dehnen sich die luftförmigen Körper durch die Wärme aus. Eine Luftmasse vergrößert ihr Volumen bei einer Erwärmung von Null bis 100 Grad um etwas mehr, als den dritten Theil, und bei einer Erwärmung von Null bis 300 Grad dehnt sich dieselbe, wenn der äußere Druck der nehmliche bleibt, in den doppelten Raum aus.

Der Amerikaner Erikson hat im Jahre 1853 diese starke Ausdehnung, welche die Luft durch die Wärme erfährt, zur Construction einer Bewegungsmaschine benutzt, welche bei gleicher Leistung weniger Brennmaterial verzehrt, als die Dampfmaschine, und zugleich von den Gefahren frei ist, welche bei dieser durch das Zerspringen des Kessels hervorgerufen werden. Doch fehlt es zur Zeit noch an entscheidenden Erfahrungen über die praktische Anwendbarkeit dieser Maschine.

Da die Erwärmung der Luft mit einer so beträchtlichen Ausdehnung verbunden ist, so muß fast jede Temperaturdifferenz in der Luft mit einer Störung des Gleichgewichtes verbunden sein und in einem so beweglichen Elemente, wie die Luft, mehr oder minder lebhafte Strömungen hervorrufen. Wir beobachten diese Strömungen als Zug an den Fenstern und Thüren unserer Wohnungen, ebenso in den Kaminen und Schornsteinen, als Winde und Stürme aber in der Atmosphäre.

Digitized by Google

Wenn wir uns in einer industriellen Gegend befinden, so erblicken wir häufig neben den Fabrikanlagen thurmhohe Schornsteine, welche die Bestimmung haben, einen starken Zug hervorzurufen, da durch diesen wesentlich die Lebhaftigkeit des Verbrennungsprozesses und die zu erzielende Hitze bedingt wird. Die Erfahrung lehrt uns, daß mit der Höhe des Schornsteines im Allgemeinen auch die Stärke des Zuges zunimmt. Luftzug.

(Fig. 140.)

Um aber die Gründe zu verdeutlichen, auf denen diese Erfahrung beruht, wollen wir annehmen, AB, Fig. 140, sei ein aufrechtstehender, cylinderförmiger Schornstein, und die in demselben enthaltene Luftsäule sei durch ein darunter angebrachtes Feuer zu einer höheren Temperatur, als die umgebende äußere Luft erwärmt. So lange dieses noch nicht der Fall war, so lange die in dem Schornsteine eingeschlossene Luft mit der äußeren eine gleiche Temperatur, also auch ein gleiches specifisches Gewicht besaß, konnte keine Strömung eintreten; am untern Ende B übte die innere eingeschlossene Luft einen ebenso starken Druck aus, als die äußere umgebende Luft; beide drückende Kräfte hielten sich das Gleichgewicht. So wie aber die Temperatur der eingeschlossenen Luftsäule AB in Folge der unter B angebrachten Heizung sich erhöht und daher das Gewicht dieser Luftsäule sich vermindert, so verringert sich auch um ebenso viel der innere Luftdruck. Derselbe vermag daher dem äußern Luftdrucke nicht mehr das Gleichgewicht zu halten, sondern wird von diesem um so viel übertroffen, als das Gewicht der in dem Schornstein AB enthaltenen Luftsäule in Folge der Erwärmung sich vermindert hat, d. h. um so viel, als die erwärmte Luftsäule AB weniger wiegt, als eine ebenso große Luftsäule von der Temperatur der äußern Luft.

Mit einer diesem Unterschiede entsprechenden Kraft wird die äußere Luft am unteren Ende des Schornsteins einwärts, und wie sich weiter leicht zeigen läßt, die innere am obern Ende auswärts getrieben. Wir sind daher geradezu im Stande, die Stärke des Zuges zu berechnen, wenn uns die senkrechte Höhe des Schornsteins und die Temperatur der innern erhitzten und die Temperatur der äußern Luft gegeben ist. Wie bei aller Bewegung würde jedoch auch hier der wirklich zu erzielende Effect hinter dem berechneten etwas zurückbleiben, und zwar hauptsächlich wegen der Reibung, welche die Luft an den Wänden des Schornsteines erleidet.

Abgesehen hiervon und von anderen kleinen Nebenumständen, werden sich unsere Leser, wie wir hoffen, durch die eben vorgetragene Erörterung überzeugt haben, daß die Stärke des Zuges in gleichem Verhältnisse mit der senkrechten Höhe des Schornsteins zunehmen und um so mehr wachsen muß, je größer die Temperatur der innern eingeschlossenen Luft, und je geringer die Temperatur der äußern Luft ist.

Auch diese letzte Behauptung in Betreff des Einflusses der äußern Lufttemperatur werden unsere Leser ohne Zweifel nach ihren eigenen Erfahrungen bestätigen können, indem bei starkem Frostwetter im Winter die Oefen besser ziehen, als bei milderer Witterung, besonders als bei eintretendem Thauwetter nach vorangegangenem Froste.

Auf ganz gleichen Gründen, welche wir für die Strömung der Luft in den Schornstein vorgetragen haben, beruht auch der Zug, welchen wir, zumal im Winter, an unsern Thüren und Fenstern wahrnehmen; auch dieser wird

Digitized by Google

wesentlich durch den Unterschied zwischen der Temperatur der innern und äußern Luft bedingt; auch hier strömt die kalte Luft unten ein, die warme oben aus, wie man sich leicht überzeugen kann, wenn man eine Lichtflamme an dem Rande einer etwas geöffneten oder nicht dicht schließenden Thüre auf und ab bewegt. Man wird dann bemerken, daß die Flamme unten durch den Zugwind nach Innen gezogen, oben aber nach außen getrieben wird.

Die Land- und Seewinde.

Das nehmliche Verhältniß sehen wir auch bei den Luftströmungen in der Atmosphäre, bei den Winden, wiederkehren; auch hier fließt oben die warme Luft ab, und strömt unten die kalte Luft ein.

Besonders einfach und leicht auf die veranlassenden Ursachen zurückzuführen, gestalten sich diese Verhältnisse bei den Land- und Seewinden, welche man an den Küsten des Meeres bemerkt. Am Tage weht hier der Wind vom Meere nach dem Lande, in der Nacht vom Lande nach dem Meere hin. Der erstere beginnt nach vorangegangener Windstille mit allmählig zunehmender Stärke einige Stunden nach Sonnenaufgang, erreicht gegen zwei bis drei Uhr seine größte Stärke, nimmt dann allmählig wieder ab und geht einige Stunden nach Sonnenuntergang in Windstille über, worauf gegen Mitternacht sich der vom Lande her wehende Wind erhebt, welcher die ganze Nacht hindurch und bis nach Sonnenaufgang anhält.

Der angegebene Verlauf dieser Winde, die Uebereinstimmung mit dem Gange der Tageswärme kann über die Ursache derselben keinen Zweifel lassen. Indem am Tage sich das Land stärker als das Wasser durch die Sonnenstrahlen erhitzt, wird auch die auf dem Lande lagernde Luftsäule stärker erwärmt, und indem die durch die Ausdehnung erhöhte Luftsäule oben abfließt, also an Gewicht verliert, dringt unten in dieselbe kältere Luft von der See her ein. Es muß daher am Tage der Wind von der See nach dem Lande hin wehen.

So wie das feste Land am Tage durch die Sonnenstrahlen stärker erwärmt wird, als das Wasser, so kühlt sich umgekehrt dasselbe zur Nachtzeit auch stärker ab. Um diese Erscheinung zu erklären, müssen wir schon hier einen Gegenstand vorläufig berühren, von welchem wir erst später ausführlicher handeln können. Wir werden nehmlich weiterhin zeigen, daß nicht blos die Sonne und glühende oder stark erhitzte Körper, sondern daß alle Körper und unter allen Umständen Wärme ausstrahlen. Indem nun auch die Erde beständig Wärme in den Weltraum ausstrahlt, aber nur am Tage Wärme von der Sonne empfängt, vermindert sich während der Nacht in Folge der Ausstrahlung ihre Temperatur. Ohne diese Ausstrahlung müßte ja, da wir Tag um Tag von der Sonne Wärme empfangen, die Temperatur auf der Erde beständig zunehmen; die Verluste durch Ausstrahlung in den Weltraum gleichen diesen Gewinn wieder aus und erhalten Jahr aus Jahr ein die mittlere Temperatur auf ohngefähr gleicher Höhe.

Nicht alle Körper besitzen jedoch ein gleiches Ausstrahlungsvermögen; diejenigen, welche die Wärmestrahlen, welche auf sie fallen, am begierigsten verschlucken, strahlen auch am reichlichsten Wärme aus. So wie also das feste Land am Tage von den Sonnenstrahlen mehr verschluckt, als das glänzendere, stärker reflectirende Wasser, so strahlt dasselbe auch stärker aus und kühlt sich zur Nachtzeit stärker ab, als das weniger ausstrahlende Wasser. Indem aber in Folge hiervon die auf dem Wasser ruhende Luftsäule eine höhere Temperatur annimmt, als die auf dem Lande lagernde Luftsäule, dringt von

Digitized by Google

jener her in diese unten kalte Luft ein und bringt so die Erscheinung eines zur Nachtzeit vom Lande nach der See hin wehenden Windes hervor.

Die so eben besprochenen Winde zeigen sich jedoch nur in der Nähe der Küsten und auch hier nur dann, wenn sie nicht durch andere stärkere Luftströmungen verdrängt werden; sie sind überhaupt nur schwach und treten am deutlichsten in der heißen Zone hervor; in höheren Breiten werden sie durch die vielen anderweitigen und weit kräftigeren Winde mehrentheils gänzlich verdunkelt.

Das Beispiel der Land- und Seewinde zeigt uns ungemein klar und deutlich, wie eine Verschiedenheit in der Temperatur benachbarter Gegenden Strömungen in der Atmosphäre, und zwar in den oberen Luftschichten eine Strömung von der wärmeren nach der kälteren, in den unteren einen Wind von der kälteren nach der wärmeren Gegend hervorruft.

Die Aequatoreal- und Polarströmungen in der Atmosphäre.

Die größte und ununterbrochenste Ungleichheit in der Temperatur an der Erdoberfläche bieten uns aber die verschiedenen Zonen der Erde, die Gegenden am Pole und am Aequator, dar. Wir müssen daher erwarten, daß aus dieser Ungleichheit auch die mächtigste und andauerndste Strömung, in den obern Luftschichten vom Aequator nach den Polen, in den untern von den Polen nach dem Aequator, also auf der nördlichen Erdhälfte an der Oberfläche derselben ein ununterbrochener Nordwind, auf der südlichen Hälfte ein unausgesetzt wehender Südwind hervorgeht. Wir müssen dieses als nothwendig erwarten, wenn nicht etwa andere zugleich eingreifende Ursachen hierin eine Aenderung hervorbringen, so wie wir ja z. B. auch in Hinsicht der Land- und Seewinde oben bemerkt haben, daß dieselben nur so lange deutlich hervortreten, als sie nicht durch andere mächtigere Strömungen verdrängt werden.

Als die erste eingreifende Ursache, welche das Zustandekommen eines vollen Nordwinds auf unserer, eines vollen Südwinds auf der andern Erdhälfte beeinträchtigt, ist die Axendrehung der Erde anzuführen. An dieser Axendrehung nimmt nicht blos die Gesammtheit der auf der Erdoberfläche vorhandenen festen und flüssigen Körper, sondern auch die Atmosphäre gleichförmig Theil. Wäre dies nicht der Fall, bliebe die Atmosphäre in Ruhe, während sich die Erde und wir mit ihr von Westen nach Osten drehen, so würden wir mit der Geschwindigkeit von ohngefähr 900 Fuß in der Secunde die ruhende Atmosphäre durchschneiden, und weil wir ja die eigne Bewegung, welche wir mit der Erde theilen, nicht merken, so würde uns der heftigste Wind aus Osten, der furchtbarste, die schrecklichsten Zerstörungen anrichtende Orkan entgegenwehen. Dies ist jedoch deshalb nicht der Fall, weil, wie gesagt, auch die Atmosphäre, so wie alle anderen der Erde zugehörigen Körper an der Axendrehung derselben Theil nehmen.

Da die Parallelkreise mit der Entfernung vom Aequator, mit der Annäherung an den Pol immer kleiner werden, so haben die näher nach dem Pole zu liegenden Gegenden eine kleinere Rotationsgeschwindigkeit, als die dem Aequator näheren. Wenn daher ein Lufttheilchen aus höheren Breiten nach niederen Breiten genau in der Richtung von Norden nach Süden fortbewegt wird, so muß dasselbe vermöge der geringeren Rotationsgeschwindigkeit, die es aus den höheren Breiten mitbringt, hinter den mit größerer Rotationsgeschwindigkeit in der Richtung von Westen nach Osten fortbewegten Luftschichten in den niederen Breiten zurückbleiben und daher für einen diese letztere Bewegung theilenden Beobachter sich von Osten nach Westen zu bewegen scheinen.

Digitized by Google

Der große Unterschied in der Temperatur zwischen den Polar- und Aequatorealgegenden muß, wie schon oben bemerkt, eine beständige Strömung der kälteren Luft an der Erdoberfläche von beiden Polen nach dem Aequator hin herbeiführen. Allein diese beiden Polarströme können nach den eben erörterten Gründen zu Folge der Axendrehung der Erde von den Bewohnern derselben nicht als Nord- und Südwinde wahrgenommen werden, sondern sie müssen den Bewohnern unserer Erdhälfte aus Nordost, denen der anderen Erdhälfte aus Südost zu kommen scheinen.

Die Passatwinde.

Hiernach müßte also auf der nördlichen Erdhälfte unausgesetzt durch das ganze Jahr Nordostwind, auf der südlichen Erdhälfte Südostwind wehen. Dieses ist nun in den näher am Aequator liegenden Gegenden, in denen diese Winde den Namen des Nordost- und Südostpassatwindes führen, wirklich der Fall. Wenn unsere eigenen Erfahrungen und überhaupt die Erfahrungen der Bewohner der vom Aequator entfernteren Gegenden der Erde mit dem Obigen nicht überein zu stimmen scheinen, so soll sogleich von den Störungen, welche eine Abweichung hervorbringen, die Rede sein. Zunächst wollen wir jedoch bei der so merkwürdigen Erscheinung der Passatwinde, welche in zwei zu beiden Seiten des Aequators liegenden Gürteln das ganze Jahr hindurch in nord- und südöstlicher Richtung wehen, und deren einfache Erklärung, wie sie zuerst von Hadley (1735) aufgestellt worden ist, wir so eben vorgetragen haben, einen Augenblick verweilen.

Von den beiden Passaten erstreckt sich der nördliche bis etwa 30^0, der südliche nur bis 25^0 vom geographischen Aequator. Diese Ungleichheit beruht darauf, daß im Allgemeinen der nördlichen Erdhälfte eine höhere Temperatur, als der südlichen zukommt, diejenige Linie der Erdoberfläche, an welcher die größte Wärme stattfindet, der sogenannte thermische Aequator, nicht mit dem geographischen Aequator zusammen, sondern ganz auf die nördliche Erdhälfte fällt. Ueberdieß sind die Grenzen der Passate nicht durch das ganze Jahr dieselben, sondern dem Laufe der Sonne in den verschiedenen Jahreszeiten folgend, bald mehr nach Norden, bald mehr nach Süden vorrückend.

Beide Passate wehen am gleichmäßigsten, sowohl in Hinsicht der Richtung, als der Stärke, in der Mitte des Gürtels, welchen jeder einnimmt. Getrennt sind sie von einander durch einen Gürtel von etwa 6 Grad Breite, in welchem der nördliche und südliche Polarstrom bei ihrem Zusammentreffen in gerader entgegengesetzter Richtung sich gleichsam gegenseitig aufstauen, und der aufsteigende Luftstrom, welcher hier die größte Stärke hat, die horizontale Richtung der Luftströmung verdrängt.

In diesem Gürtel, der sogenannten Region der Calmen, wechseln Windstillen mit den heftigsten Stürmen und Gewitterregen. In den Gegenden der Passate herrscht dagegen mit dergleichen Windesrichtung durch das ganze Jahr ein immer heiterer Himmel; Regen gehört zu den Seltenheiten, da es hier an den Bedingungen desselben, Eindringen eines kälteren Luftstromes in wärmere feuchte Luft, in der Regel fehlt.

Die Passatwinde zeigen sich in ihrer vollen Regelmäßigkeit nur in den großen Oceanen. An den Küsten werden sie durch die Land- und Seewinde, im Innern des Landes durch Gebirgszüge gestört. Nur in ganz flachen Gegenden, wie z. B. in den Ebenen Südamerika's, dringt in dem sich von Osten nach Westen erstreckenden Flußbette des Amazonenstromes der Südostpassat bis tief in das Land hinein.

Digitized by Google

Wenn wir in den beiden Passaten die Strömungen der unteren kalten Luft von den Polen nach dem Aequator, überhaupt von den höheren Breiten nach den niederen erkannt haben, so geht schon hieraus, wenn überhaupt unsere Theorie richtig ist, hervor, daß in den oberen Regionen die warme Luft in der entgegengesetzten Richtung, also vom Aequator nach den Polen abfließen, dem Nordostpassat an der Oberfläche der Erde eine südwestliche, dem Südostpassat eine nordwestliche Strömung in den oberen Luftschichten entsprechen muß. Als Erfahrungen, welche das Vorhandensein dieser oberen Luftströmungen bekunden, führen wir folgende an:

Auf dem Pic von Teneriffa trifft man in der Regel westliche Winde an, während auf dem Meere in der Nähe der Insel der Nordostpassat weht. Bei einem Ausbruche des Vulkans der Insel St. Vincent fiel, während der Nordostpassat wehte, auf der Insel Barbados, von welcher die Insel St. Vincent westlich gelegen ist, ein Aschenregen nieder. — Auch sollen in der Regel in den tropischen Gegenden die Wolken in den höheren Luftschichten sich in einer dem Passatwinde entgegengesetzten Richtung bewegen.

Haben wir so das Vorhandensein des Polar- und Aequatorealstromes in den tropischen Gegenden nachgewiesen, so fragen wir nun weiter, welches Verhalten diese Ströme, die oben in der Richtung vom Aequator nach den Polen hin abfließende warme Luft und die unten in der entgegengesetzten Richtung strömende kalte Luft in weiterer Entfernung vom Aequator, in den höheren Breiten zeigen.

Indem der obere Luftstrom bei seinem weiteren Vordringen von Süden nach Norden sich immer mehr abkühlt, also an specifischem Gewichte zunimmt, senkt sich derselbe mehr und mehr und geht dann in den höheren Breiten nicht mehr *über* dem Polarstrome, sondern *neben* demselben an der Erdoberfläche her. Indem nun in unregelmäßigem Wechsel bald der Polar-, bald der Aequatorealstrom über unsere Gegend seinen Lauf nimmt, haben wir im ersten Falle Nord-, Nordost- oder Ostwind, im letzteren Falle Süd-, Südwest- oder Westwind.

Wir erinnern unsere Leser daran, daß, wie wir oben gezeigt haben, eine in der Richtung von Norden nach Süden bewegte Luftmasse vermöge der geringeren Rotationsgeschwindigkeit, die sie aus den höheren Breiten mitbringt, hinter den mit größerer Geschwindigkeit von Westen nach Osten bewegten Theilen der Atmosphäre in den niederen Breiten zurückbleibt. Es muß dies offenbar um so mehr der Fall sein, je weiter die Luftmasse in der Richtung von den Polen nach dem Aequator fortschreitet, um so mehr muß folglich auch die Geschwindigkeit ihrer scheinbaren Bewegung von Osten nach Westen zunehmen. Je weiter daher der Polarstrom vordringt, um so mehr wird derselbe nach Nordost und Ost abgelenkt. Mit Recht sagt in dieser Beziehung *Dove*: die meisten Winde stammen nicht aus der Gegend, aus welcher sie jagen; der Ost und Nordost sind weit mehr Nord, als der Nord selbst.

Es kommen nehmlich zu Folge der vorstehenden Erörterung der Ost- und Nordostwind aus nördlicher gelegenen Gegenden zu uns, als der Nordwind.

Wir brauchen wohl kaum zu erwähnen, daß ganz Aehnliches auch von dem Aequatorealstrome gilt, daß derselbe nehmlich um so mehr eine westliche Richtung annehmen muß, aus einer je ferneren südlichen Gegend derselbe zu uns gelangt. Denn, indem die aus niederen Breiten in höhere überströmenden Luftmassen von dort eine größere Rotationsgeschwindigkeit mitbringen, müssen sie in der Richtung der Axendrehung der Erde, also in der Rich-

Digitized by Google

tung von Westen nach Osten, den Luftmassen, welche sie in der höheren Breite antreffen, voraneilen.

Der Südost und Nordwest.

Das Vorhergehende hat, wie wir hoffen, unseren Lesern Aufschluß über die Entstehung der Hauptwinde, welche bei uns am häufigsten in nordöstlicher und südwestlicher Richtung wehen, gegeben. Dieselben verdanken der großartigsten Temperaturverschiedenheit, der ungleichen Vertheilung der Wärme über die verschiedenen Zonen der Erde ihren Ursprung. Sie sind jedoch, wenn auch die vorherrschenden, doch nicht die alleinigen Winde, was uns um so weniger befremden kann, da wir im Vorangehenden gesehen haben, daß überhaupt jede Ungleichheit der Temperatur in der Luft Strömungen herbeiführen, die mannigfaltigsten Ursachen aber, die Vertheilung von Wasser und Land, die Nähe hoher Gebirgsrücken u. a. m., Temperaturverschiedenheiten veranlassen können. Unsere Leser werden nicht erwarten, daß wir hierauf im Einzelnen eingehen. Wir bemerken nur noch in Betreff der zwei Windesrichtungen, welche weder dem Polar-, noch dem Aequatorealstrom ihre Entstehung verdanken können, nehmlich Südost und Nordwest, daß der Südost in der That für unsere Gegend zu den selten, der Nordwest dagegen zu den häufiger wehenden Winden gehört. Ueber den Ursprung dieses letzteren Windes führen wir, Dove folgend, Folgendes an:

Die Mousson.

Indem der weit ausgedehnte Continent von Asien im Sommer sich durch die Sonnenstrahlen bis zu hohen Breiten hinauf stark erhitzt, die erwärmte Luft oben nach allen Seiten hin abfließt, erzeugt das Hinzuströmen der unteren kälteren Luft in den indischen Meeren, die während der Sommermonate regelmäßig in südwestlicher Richtung wehenden Moussons, an den Ostküsten Asiens östliche, in Europa aber nordwestliche Winde. — Die während der Wintermonate in den indischen Meeren in nordöstlicher Richtung wehenden Moussons aber sind eine Folge der im Winter stärkeren Abkühlung des Continents von Asien, als des südlich gelegenen Oceans.

Ebenso geht in dieser Jahreszeit in Nordamerika, welches sich durch strenge Winter auszeichnet, die Temperatur weit unter die des atlantischen Oceans und selbst unter die Temperatur, welche bei gleicher nördlicher Breite in Europa angetroffen wird, herab und veranlaßt in den untern Luftschichten eine nordwestliche Strömung, welche sich über den atlantischen Ocean bis zu den westlich gelegenen Ländern Europa's fortsetzt.

Zu Folge dieser Theorie werden also die für unsere Gegend häufigen Nordwestwinde im Sommer durch die größere Hitze Asiens, im Winter durch die größere Kälte Amerika's hervorgerufen.

Das Drehungsgesetz

Wenn Winde verschiedener Richtung, ins Besondere der Polar- und Aequatorealstrom, sich gegenseitig verdrängen, so muß hierdurch offenbar eine vorübergehende Aenderung der Windesrichtung, eine Drehung des Windes entstehen. Nach einer schon früher aufgestellten, in neuerer Zeit aber durch Dove näher begründeten Ansicht erfolgt diese Drehung gewöhnlicher in der Richtung Nord, Ost, Süd, West, Nord, also mit der Sonne, als in der entgegengesetzten Richtung.

Die Stürme.

Das Vorhergehende betraf zunächst die in weiter Ausdehnung mit mehr oder weniger Regelmäßigkeit wehenden, herrschenden Winde. Wir haben nun noch von den meist auf einen schmalen Raum beschränkten, plötzlich losbrechenden und ebenso rasch wieder vorübergehenden Stürmen zu handeln.

Wie schon oben angeführt, wechseln in der Region der Calmen Windstillen mit den heftigsten Stürmen. Die in diesem Gebiete entspringenden

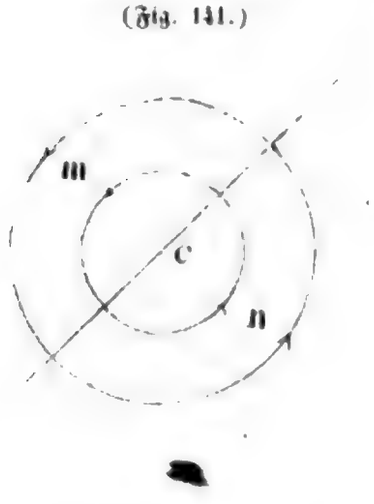
Digitized by Google

Stürme überschreiten in ihrem weiteren Verlauf die Grenzen desselben bis zu mehr oder minder großen Fernen. Sie richten ins Besondere auf den westindischen Inseln, wo sie den Namen Tornados führen, oft die schrecklichsten Verwüstungen an und setzen auch wohl ihren Lauf bis in die vereinigten Staaten von Nordamerika fort. Auf jenen Inseln werden durch die Tornados nicht selten ganze Landschaften ihres Baumwuchses beraubt, die festesten Gebäude niedergerissen und die Einwohner unter den Trümmern derselben begraben. Eine sehr gewöhnliche Erscheinung bei diesen Stürmen ist, daß dieselben durch eine plötzlich eintretende Windstille unterbrochen werden, worauf dann der Sturm von Neuem mit der größten Heftigkeit, aber mit veränderter Richtung losbricht. In der Regel sind diese Stürme von den stärksten Regengüssen und den gewaltigsten Donnerschlägen begleitet. Angekündigt werden dieselben oft dadurch, daß am völlig heiteren Himmel und bei gänzlicher Windstille sich eine dünne Wolke bildet, welche sich rasch vergrößert und über den ganzen Himmel ausbreitet, worauf dann plötzlich der Ausbruch des Orkans erfolgt.

Veranlaßt werden diese Stürme wahrscheinlich dadurch, daß in Folge der starken Erhitzung des Bodens durch die senkrecht auffallenden Sonnenstrahlen die erwärmte und mit Dämpfen geschwängerte Luft sich zu einer Säule von übermäßiger Höhe ausdehnt, welche dann bei irgend einem Anstoß plötzlich oben abfließt, sich mit kälterer Luft mischt und durch die wässerigen Niederschläge, welche in Folge dieser Mischung entstehen, ihr Gewicht noch mehr erleichtert, in Folge dessen in den luftverdünnten Raum die in der Region der Calmen sich gegenseitig aufstauenden Polarströme plötzlich in entgegengesetzten Richtungen eindringen und so eine wirbelförmige Bewegung erzeugen.

Daß diese Stürme in der That großartige Wirbelwinde sind, bei denen die Luftmassen in weiten Kreisen um ein gemeinschaftliches, ebenfalls, aber verhältnißmäßig langsam fortschreitendes Centrum rotiren, dafür spricht der Umstand, daß häufig zur Zeit des nehmlichen Sturmes an nicht weit auseinander liegenden Orten die Windesrichtung die entgegengesetzte ist, und wie schon oben angeführt, daß an dem nehmlichen Orte oft nach zwischengetretener Windstille der Sturm sich mit veränderter Richtung erneuert.

(Fig. 141.)



Ist nehmlich gemäß dieser Ansicht c, Fig. 141, das Centrum des Wirbels, so wird z. B. in den Orten m und n gleichzeitig der Wind entgegengesetzte Richtungen haben. Bewegt sich das Centrum c in der Richtung ab fort, so wird in dem Augenblicke, in welchem dasselbe über einen Ort hinweggeht, an diesem Orte Windstille eintreten, vorher und nachher aber der Sturm mit gerade entgegengesetzter Richtung auftreten.

Die Windhosen.

Als Wirbelwinde sind ferner die so genannten Windhosen oder Tromben anzusehen, welche, wenn sie auf dem Wasser erscheinen, auch den Namen Wasserhosen führen. Dieselben bestehen aus zwei mit ihren Spitzen gegen einander gekehrten kegelförmigen Theilen, von denen der obere

Digitized by Google

durch eine herabhängende Wolke, der untere durch eine emporgehobene Wassersäule oder durch aufgewirbelte Staubtheile und andere leichte Körper gebildet wird. Sie richten auf dem schmalen Striche, über welche sie ihren Lauf nehmen, ähnliche Verwüstungen wie die heftigsten Sturmwinde an, während im Uebrigen nicht selten völlige Windstille stattfindet.

Wir heben als Beispiel eine Windhose heraus, welche am 23. April des Jahres 1800 nach der Beschreibung von Lampadius im sächsischen Erzgebirge, in der Nähe des Städtchens Hainichen, in einer Breite von etwa 60 Schritten und in der Länge einer Meile in der Zeit von 7 bis 8 Minuten bedeutende Verheerungen anrichtete, während außerhalb der Grenze dieses eine Meile langen und 60 Schritt breiten Streifens Windstille herrschte. In mehreren Dörfern, über welche das Meteor seinen Weg nahm, wurden Häuser oder Dächer weggerissen, ja selbst massive Wohngebäude zertrümmert, die stärksten Bäume ausgerissen oder abgebrochen, und in wenig Augenblicken war durch einen Wald eine Allee in der Breite von etwa 60 Schritt hergestellt. Ein Knecht und zwei Pferde wurden von der Windhose emporgehoben und ersterer in einen Hohlweg, letztere in ein Gesträuch geschleudert. In einem Dorfe beobachtete eine Bäuerin aus dem Fenster ihrer Wohnung, wie eine benachbarte Scheune von der Windhose niedergerissen wurde, ohne daß sie selbst etwas von dem Winde empfand.

Die Ursachen, durch welche Windhosen, die von den Wirbeln, welche wir häufig bei schwüler, windstiller Witterung Staub, Strohhälmchen u. dgl. von der Oberfläche der Erde emporheben sehen, wohl nur dem Grade nach verschieden sind, können ohne Zweifel höchst mannigfaltiger Art sein. Wenn wir so häufig im Wasser Wirbel antreffen, um wie viel leichter müssen dieselben nicht in einem noch unvergleichlich beweglicheren Elemente, wie die Luft, entstehen können?

Endlich führen wir noch an, daß selbst ausgedehnte Feuersbrünste zu mehr oder minder erheblichen Luftströmungen Veranlassung geben können. Es kann daher nicht befremden, wenn wir so häufig erzählen hören, daß bei dem Beginne eines Feuers kein oder nur ein sehr schwacher Wind zu spüren war, mit der weiteren Ausbreitung desselben aber auch der Wind mehr und mehr an Stärke zunahm. Ins Besondere hat man in Nordamerika, wenn an ganz windstillen Tagen zur Ausrottung der Urwälder große Massen gefällten Holzes angezündet wurden, die Entstehung heftiger Wirbelwinde beobachtet, welche dünne gefällte Bäume und starke Bündel von Reisig bis zu beträchtlicher Höhe emporhoben und eine Strecke weit fortschleuderten.

Nutzen der Winde.

So groß die Verwüstungen sind, welche einerseits heftige Winde anrichten, ebenso mannichfaltig ist andererseits auch der Nutzen wieder. Da wir die wohlthätigen Wirkungen der Winde im Allgemeinen als bekannt voraussetzen dürfen, so beschränken wir uns darauf, auf ein vielleicht minder beachtetes Verhältniß hinzuweisen. Indem der Polarstrom beständig kalte Luft aus den höheren Breiten nach dem Aequator hin, der Aequatorealstrom warme Luft vom Aequator nach den Polen hinführt, wird durch ersteren die Hitze der tropischen Gegenden, durch letzteren die Kälte der arktischen Regionen gemildert.

Strömungen im Meere.

Ganz ähnliche Strömungen, wie in der Atmosphäre, müssen zu Folge der oben für diese entwickelten Gründe auch im Meere stattfinden. Auch hier muß beständig an der Oberfläche das warme Wasser von dem Aequator nach den Polen und das kalte Wasser in der Tiefe von den Polen nach dem

Digitized by Google

Aequator strömen. Dennoch ist es bis jetzt noch nicht gelungen, das Vorhandensein der oberen Strömungen durch directe Beobachtungen nachzuweisen. Wir bemerken hierzu, daß erstens diese Strömungen an sich verglichen, mit den durch die Ungleichheit der Temperatur in der Atmosphäre hervorgerufenen Strömungen nur schwach sein können, da das Wasser soviel weniger, als die Luft durch die Wärme ausgedehnt wird. Hierzu kommt ferner, daß die Küsten des festen Landes den Lauf dieser Strömungen hemmen oder nach einer anderen Richtung ablenken, vor Allem aber, daß eine Menge von anderen und stärker wirkenden Ursachen, ins Besondere Ebbe und Fluth die Meeresgewässer in Bewegung setzen; ebenso Winde das Wasser an der Oberfläche des Meeres vor sich hertreiben und Strömungen veranlassen, durch welche der obere Strom von dem Aequator nach den Polen hin verdunkelt oder gänzlich aufgehoben wird.

Directe Beobachtungen über den Polarstrom in der Tiefe anzustellen, würde natürlich mit großen Schwierigkeiten verbunden sein. Dagegen fehlt es nicht an Erfahrungen, welche das Vorhandensein dieser Strömung des kalten Wassers von den Polen nach dem Aequator hin bekunden. Ueberall in der heißen Zone und selbst unter dem Aequator, wo das Meerwasser an der Oberfläche eine Temperatur von 25^0 zeigt, findet man in beträchtlichen Tiefen kaltes Wasser, dessen Temperatur die des Eispunktes nur um wenige Grade übersteigt. Auf diese Art können Seethiere, welche nur in kalten Gewässern auszudauern vermögen, von den Polarmeeren in der Tiefe bis zu dem Aequator vordringen, indem sie hier Wasser von einer ihnen zusagenden Temperatur antreffen.

Eine andere Erscheinung, durch welche sich die untere Strömung des kalten Wassers zu erkennen giebt, ist die von Seefahrern häufig gemachte Erfahrung, daß die Temperatur des Meerwassers über Untiefen eine plötzliche Verminderung erleidet. Es erklärt sich dieses daraus, daß die kalten Gewässer der Tiefe an der Untiefe gleichsam wie an einer schiefen Ebene emporsteigen und so bis an die Oberfläche des Meeres gelangen.

Aenderung des Aggregatszustandes.

Wir haben bisher nur von der einen Wirkung der Wärme, nehmlich der Ausdehnung der Körper durch die Wärme, gehandelt. Eine zweite, noch viel beträchtlichere Wirkung, welche die Wärme auf die Körper ausübt, besteht in der Aenderung des Aggregatszustandes. Feste Körper können durch die Erhöhung der Temperatur in den flüssigen, flüssige in den luftförmigen Zustand übergeführt werden, und ebenso kehren bei verminderter Temperatur die luftförmigen Körper wieder in den flüssigen, die flüssigen in den festen Zustand zurück.

Hierbei tritt allemal der höchst merkwürdige Umstand ein, daß, so lange dieser Uebergang dauert, die Temperatur keine Aenderung erleidet. Bringen wir z. B. an einem kalten Wintertage ein Gefäß mit Schnee in die geheizte Stube und stecken in den Schnee ein Thermometer, so wird dieses, wenn die äußere Luft und daher auch der außen gesammelte Schnee eine niedrige Temperatur hat, zuerst bis mehrere Grade, wir wollen annehmen, bis 10 Grad unter Null herabgehen, dann, indem der Schnee in der Stube sich allmählig erwärmt, von — 10 Grad bis Null steigen.

So wie das Thermometer aber diesen Punkt erreicht hat, fängt der Schnee an sich in Wasser zu verwandeln, und das Thermometer bleibt nun während der ganzen Dauer dieser Umwandlung unveränderlich auf Null Grad stehen, so lange, bis aller Schnee geschmolzen ist. Ist dieses geschehen, aller

Digitized by Google

Schnee zu Wasser geworden, so nimmt auch die Temperatur des Wassers wieder zu, bis sie allmählig die Temperatur der Luft in der Stube erreicht.

Bringen wir jetzt unter dem Gefäß ein Feuer an, so wird die Temperatur des Wassers auf's Neue steigen; aber sie fährt hiermit nur so lange fort, bis das Thermometer 100 Grad zeigt und das Wasser in's Sieden kommt. Dann tritt auf's Neue in dem Steigen des Thermometers ein Stillstand ein; dasselbe bleibt unveränderlich auf 100 Grad stehen, die ganze Zeit hindurch, während welcher das Wasser siedet.

Latente Wärme der flüssigen Körper.

Sowohl während des Schmelzens, als während des Siedens des Wassers wird demselben beständig Wärme zugeführt. Durch diese Wärme wird aber keine Temperaturerhöhung bewirkt; dieselbe wird vielmehr lediglich zur Verwandlung des Aggregatszustandes verwendet. Man nennt diese Wärme, weil sie am Thermometer nicht sichtbar wird, latente oder gebundene Wärme. Die Wärme, welche beim Schmelzen eines Pfundes Eis oder Schnee gebunden wird, ist so beträchtlich, daß dieselbe Wärmemenge im Stande sein würde, ein Pfund Eis von Null Grad bis 80 Grad (ohngefähr) zu erwärmen.

Man kann dieses zeigen, indem man ein Pfund Eis von Null Grad mit einem Pfunde Wasser von 80 Grad vermischt. Man erhält dann zwei Pfund Wasser von Null Grad. Das Pfund Wasser von 80 Grad hat also volle 80 Grad Wärme an das Pfund Eis von Null Grad abgegeben, und diese Wärme hat eben ausgereicht, das Eis in Wasser zu verwandeln; eine Temperaturerhöhung hat nicht stattgefunden.

Wir sehen hieraus, daß in einem Pfunde Wasser vom Null Grad doch noch 80 Grad mehr Wärme, als in einem Pfunde Eis von Null Grad enthalten, aber allerdings in der Art latent oder gebunden sind, daß sie sich an dem Thermometer nicht zu erkennen geben.

Dieselbe Wärmemenge, welche beim Schmelzen des Eises gebunden wird, wird beim Frieren des Wassers wieder frei. Wenn ein Pfund Wasser von Null Grad friert, so giebt es an seine kälteren Umgebungen — wenn diese wärmer wären, würde das Frieren des Wassers gar nicht möglich sein — eine solche Menge Wärme ab, welche im Stande ist, die Temperatur eines Pfundes Wassers um 80^0 zu erhöhen. Man kann sich von der Richtigkeit dieser Behauptung auf folgende Art überzeugen:

Wenn man bei strenger Winterkälte Wasser in einem Gefäße im Freien aufstellt und dasselbe sorgfältig gegen jede Erschütterung schützt (zur Abhaltung des Luftzuges mit etwas Oel übergießt), so kann es geschehen, daß ein in das Wasser eingesenktes Thermometer bis mehrere Grade unter Null herabgeht, ohne daß das Wasser friert. Bei der geringsten Erschütterung aber erstarrt plötzlich ein Theil des Wassers zu Eis und das Thermometer steigt auf Null Grad. Nehmen wir an, daß die Temperatur des Wassers bis auf — 10 Grad herabgegangen war, und daß das Gewicht des Wassers 8 Loth beträgt, so verwandelt sich bei der Erschütterung nur ein Loth in Eis, die ganze Masse von 8 Loth erwärmt sich aber um 10 Grad. Das eine Loth Wasser hat also bei seiner Umwandlung in Eis so viel Wärme abgegeben, um die Temperatur der ganzen Masse von 8 Loth um 10 Grad zu erhöhen; diese Wärmemenge müßte daher ein Loth Wasser um 80 Grad zu erwärmen im Stande sein.

Die latente Wärme des Wassers ist im Haushalte der Natur von nicht geringem Einflusse. Sie hemmt im Winter das Frieren der Gewässer, indem

Digitized by Google

denselben erst 80 Grad Wärme entzogen sein müssen, ehe sie zu Eis erstarren können. Ebenso verzögert dieselbe andererseits bei eintretendem Thauwetter das Schmelzen des Eises, da hierzu eine Wärmemenge von 80 Grad erforderlich ist.

Die Landleute machen von der latenten Wärme des Wassers einen nützlichen Gebrauch. Um das Eindringen des Frostes im Winter in die Keller zu hindern, stellen sie in denselben Gefäße mit Wasser auf, welches, wenn die Temperatur der Umgebung unter Null Grad herabgeht, an diese 80 Grad Wärme abgeben kann, ehe es selbst zu Eis erstarrt, und so ein tiefes Sinken der Temperatur der umgebenden Körper unter Null Grad verhindert.

Das eben für das Wasser und Eis Vorgetragene gilt auch von allen anderen festen und flüssigen Körpern. Allemal wird beim Uebergange eines flüssigen Körpers in den festen Zustand Wärme frei und beim Schmelzen eines festen Körpers Wärme gebunden.

Das Erstere zeigt sich in einer allgemein bekannten, doch darum nicht minder auffallenden Erscheinung. Wenn gebrannter Kalk mit Wasser übergossen wird, so entsteht eine starke Erhitzung, indem sich nehmlich zwischen dem Kalke und dem Wasser eine chemische Verbindung in Form eines festen Körpers bildet, also das Wasser aus dem flüssigen in den festen Zustand übergeführt und daher der allgemeinen Regel gemäß Wärme frei wird.

Umgekehrt muß Wärme gebunden werden, also eine Erniedrigung der Temperatur eintreten, wenn ein fester und ein flüssiger oder zwei feste Körper sich chemisch verbinden und die Verbindung die flüssige Form hat.

Künstliche Kälte.

Man benutzt dies, um auf künstlichem Wege Kälte zu erzeugen. Mischt man z. B. ein Pfund Kochsalz mit drei Pfund Schnee von Null Grad, so vereinigen sich der Schnee und das Salz wegen ihrer starken chemischen Anziehung zu einer flüssigen Masse, und die Temperatur derselben sinkt bis beinahe 18 Grad unter Null. — Eine noch viel stärkere Abkühlung (von Null bis — 48 Grad) geben 3 Theile Schnee und 4 Theile salzsaurer Kalk.

Bei den beiden angegebenen Mischungen wurde schon das Vorhandensein von Eis oder Schnee vorausgesetzt. Man kann jedoch auch ohnedieß ein Herabgehen der Temperatur unter Null Grad bewirken. Wenn man z. B. 5 Theile Salmiak, 5 Theile Salpeter und 16 Theile Wasser von 10 Grad (über Null) vermischt, so sinkt die Temperatur der Mischung bis auf 12 Grad unter Null. Die Zuckerbäcker machen von dieser Mischung Gebrauch, um im Sommer Eis zu bereiten.

Je mehr die zu vermischenden Substanzen vorher abgekühlt worden sind, um so stärker ist auch die durch die Mischung zu erreichende Kälte. — Noch unvergleichlich niedrigere Temperaturen, als auf dem Wege der Mischung, werden durch die Verdunstung flüssiger Substanzen hervorgebracht, wovon weiter unten ausführlicher die Rede sein wird.

Latente Wärme der Dämpfe.

So wie nehmlich beim Uebergange eines festen Körpers in den flüssigen Zustand Wärme gebunden wird, so findet dieses in noch viel beträchtlicherem Maaße beim Uebergange eines flüssigen Körpers in den luftförmigen Zustand statt. Die Wärme, welche gebunden wird, wenn Wasser beim Sieden sich in Dampf verwandelt, beträgt mehr, als 500 Grad. Man findet dieselbe, wenn man eine abgewogene Menge Wasser zum Sieden bringt, die entwickelten Dämpfe durch ein Rohr leitet, welches durch ein Gefäß mit kaltem Wasser hindurch geführt ist und in demselben mehrere schlangenförmige Win-

Digitized by Google

dungen macht, und die Erhöhung der Temperatur beobachtet, welche das ebenfalls abgewogene Wasser in dem Gefäße dadurch erfährt, daß die durch das Rohr gehenden Dämpfe, indem sie in Folge der Abkühlung sich condensiren, ihre latente Wärme abgeben.

Die Verdunstung.

Während aber der Uebergang aus dem festen in den flüssigen Zustand an eine ganz bestimmte Temperatur gebunden ist, gehen die flüssigen Körper nicht blos beim Sieden, sondern bei jeder beliebigen, unter dem Siedepunkte liegenden Temperatur in den luftförmigen Zustand über. Wir benennen diese Erscheinung mit dem Namen **Verdunstung**. Eine Folge derselben ist das Austrocknen der Wege, das Trocknen der Wäsche u. dgl. m.

Wenn wir ein Gefäß mit Wasser in eine Stube stellen, so vermindert sich das Wasser mehr und mehr, bis dasselbe zuletzt gänzlich verschwunden ist. Das Wasser ist allmählig in den luftförmigen Zustand übergegangen, es hat sich in Dämpfe verwandelt, welche sich mit der Luft vermischt haben. Diese Umwandlung geschieht um so rascher, je höher die Temperatur der Flüssigkeit ist, und sie erfolgt am raschesten beim Sieden.

Zwischen dem Sieden und der Dampfbildung bei niedrigeren Temperaturen besteht überdieß noch ein wesentlicher Unterschied darin, daß bei diesem die Flüssigkeit nur an der Oberfläche Dampfgestalt annimmt, beim Sieden aber sich auch Dampfblasen im Innern bilden, welche die das Sieden charakterisirende eigenthümliche Erscheinung des Aufwallens hervorbringen.

Dämpfe im luftleeren Raume.

Der Grund dieser Verschiedenheit wird sich uns deutlich ergeben, wenn wir uns vorher mit dem Verhalten, welches die Dämpfe bei verschiedenen Temperaturen im luftleeren Raume zeigen, bekannt machen.

Zu diesem Zwecke kann das folgende einfache Verfahren dienen: In den luftleeren Raum eines Gefäßbarometers, Fig. 142, wird etwas Wasser gebracht, was leicht geschehen kann, da das Wasser wegen seines geringeren specifischen Gewichtes in dem Quecksilber emporsteigt. Man sieht dann das in die Torricelli'sche Leere gelangende Wasser, indem dasselbe in Dampf verwandelt wird, sich rasch vermindert und zugleich das Quecksilber in Folge des Druckes dieser Dämpfe fällt. Die Zahl der Linien, um welche das Quecksilber gefallen ist, giebt die Elasticität der gebildeten Dämpfe an.

(Fig. 142.)

Dieselbe hängt nicht von der Menge des in die Torricelli'sche Leere gelangenden Wassers ab, wenn diese Menge nur überhaupt nicht allzu gering ist. Das Quecksilber im Barometer behält seinen Stand unverändert bei, wenn man zu dem in der Torricelli'schen Leere vorhandenen Wasser noch mehr Wasser emporsteigen läßt. Es fällt dagegen aufs Neue, die Menge und Elasticität der in der Torricelli'schen Leere vorhandenen Dämpfe wird vermehrt, so wie die Temperatur erhöht wird.

Um diese letztere mit Genauigkeit bestimmen zu können, wird der ganze Apparat in einen mehrere Fuß hohen gläsernen Cylinder gesenkt, welcher mit Wasser gefüllt ist, das sich durch ein darunter angebrachtes Feuer zu beliebigen Temperaturen erwärmen läßt. Man findet dann, daß mit der Erhöhung der Temperatur die Dichte und Elasticität der Dämpfe sehr rasch zunimmt. So beträgt die Elasticität des Wasserdampfes z. B.

Digitized by Google

bei Null Grad etwa 2 Par. Linien,
„ 20 „ „ 8 „ „
„ 40 „ „ 2 „ Zoll,
„ 60 „ „ 5½ „ „
„ 80 „ „ 13 „ „
„ 100 „ „ 28 „ „

Während also bei einer Temperaturerhöhung von Null bis 20 Grad die Elasticität des Dampfes nur um 6 Linien zunimmt, wächst dieselbe, wenn die Temperatur von 80 auf 100 Grad erhöht wird, um 15 Zoll. Weiter zeigt die vorstehende Tabelle, daß die Elasticität der Dämpfe bei 100 Grad grade dem Luftdrucke gleich ist. Bei noch höheren Temperaturen übersteigt sie denselben und wächst auch hier mit der Zunahme der Temperatur in einem sehr raschen Verhältnisse. Sie steigt nehmlich

bei 120 Grad ohngefähr auf den 2fachen Luftdruck
„ 140 „ „ „ „ 3½ „ „
„ 160 „ „ „ „ 6 „ „
„ 180 „ „ „ „ 10 „ „
„ 200 „ „ „ „ 15 „ „

Von diesen letzteren Bestimmungen, welche für unseren gegenwärtigen Zweck eine geringere Wichtigkeit haben, wird in einem später folgenden Artikel, die Dampfmaschine betreffend, ausführlicher gehandelt werden.

Wie schon oben bemerkt, hängt die Elasticität und die Menge der Dämpfe, welche sich in einem Raume bilden können, von der Temperatur dieses Raumes ab. Sind in einem Raume so viel Dämpfe vorhanden, als derselbe bei der stattfindenden Temperatur überhaupt zu fassen vermag, so heißt derselbe mit Dämpfen gesättigt. Erleidet die Temperatur eines mit Dämpfen gesättigten Raumes eine Erniedrigung, so vermindert sich auch die Menge der in demselben vorhandenen Dämpfe, indem ein Theil derselben sich zu tropfbarem Wasser verdichtet.

Je höher die Temperatur eines mit Dämpfen gefüllten Raumes ist, um so größer ist auch die Elasticität der Dämpfe und der Druck, welchen dieselben auszuhalten vermögen, wovon die obigen Angaben einige Beispiele enthalten. Versucht man aber die Dämpfe einem noch stärkeren Drucke zu unterwerfen, so verwandeln sich dieselben wieder in tropfbares Wasser.

Man sieht hieraus, daß einer bestimmten Temperatur auch ein bestimmtes Maximum der Dichte und Expansivkraft der Dämpfe entspricht, welches sich auf keine Weise überschreiten läßt. Die atmosphärische Luft läßt sich, so weit unsere Erfahrung reicht, bei jeder Temperatur beliebig zusammendrücken und verdichten. Die Dämpfe dagegen vermögen bei einer bestimmten Temperatur auch nur einen bestimmten Druck auszuhalten; wird dieser Druck überschritten, so hören die Dämpfe als solche auf zu existiren, sie verwandeln sich in tropfbar flüssiges Wasser.

Das Sieden.

Durch das Vorhergehende erhalten wir nun auch vollständigen Aufschluß über die Erscheinungen des Siedens, warum dasselbe an eine bestimmte Temperatur gebunden ist, und warum sich diese mit dem Luftdrucke ändert. Sobald nehmlich die Temperatur so hoch gestiegen ist, daß die Elasticität der sich bildenden Dämpfe dem Luftdrucke gleich ist, und also die Dämpfe den Luftdruck auszuhalten vermögen, so können sich auch im Innern der Flüssigkeit Dämpfe bilden. Je größer aber der Luftdruck ist, um so höher muß natürlich auch die Temperatur steigen, ehe die Dämpfe eine dem Luft-

Digitized by Google

drucke gleichkommende Elasticität erlangen. Ist diese Temperatur noch nicht erreicht, so werden sich im Innern der Flüssigkeit keine Dämpfe bilden können; eine hier entstehende Dampfblase würde, da ihre Elasticität noch nicht eine dem Luftdruck gleiche Größe erreicht hat, sofort wieder zerdrückt werden, sich zu flüssigem Wasser verdichten.

An der Oberfläche können sich dagegen auch bei niedrigeren Temperaturen, bei denen die Elasticität der Dämpfe dem Luftdruck noch nicht gleich kommt, Dämpfe bilden, weil sich dieselben hier mit der atmosphärischen Luft vermischen und in Verbindung mit dieser, welche ja schon für sich allein den Luftdruck auszuhalten vermag, diesen Druck zu erleiden haben.

Da beim Sieden alle der Flüssigkeit zugeführte Wärme lediglich zur Dampfbildung verwendet wird, so ist es nicht möglich, Wasser in einem offenen Gefäße zu einer höheren Temperatur, als bis zum Siedepunkte zu erwärmen. Will man Wasser bis zu einer höheren Temperatur erhitzen, so muß man dieß in einem verschlossenen Gefäße thun, indem in diesem der Druck der erzeugten Dämpfe die weitere Dampfbildung beschränkt. In einem solchen Topfe, welcher nach seinem Erfinder Papin benannt wird, werden die Speisen viel rascher weich, und selbst solche, welche in siedendem Wasser nicht zu erweichen sind. Ueberdieß wird an Brennmaterial bedeutend gespart, da beim Sieden eine große Menge Wärme zur Bildung von Dämpfen verwendet wird, welche, wie schon oben erwähnt, bei ihrer Entstehung mehr, als 500 Grad Wärme aufnehmen.

Der Papin'sche Topf muß jedoch, um die Gefahr des Zerplatzens zu vermeiden, mit einem Sicherheitsventile versehen sein, welches sich von selbst öffnet, wenn die Dämpfe eine zu hohe Elasticität erreichen.

Da auf hohen Bergen der Luftdruck geringer ist, als im Thale, so kommt das Wasser auf jenen schon bei niedrigerer Temperatur ins Sieden. So läßt sich in dem Hospiz auf den St. Bernhard in einem offenen Topfe Rindfleisch nicht mehr weich kochen, weil hier das Wasser schon bei 92 Grad siedet, indem in der Höhe von 7700 Fuß der Luftdruck nur noch 20 Zoll beträgt. Unter der Luftpumpe läßt sich lauwarmes, überhaupt Wasser von jeder beliebigen Temperatur ins Sieden bringen, wenn die Luft im Recipienten rasch genug verdünnt und also der Druck derselben hinreichend vermindert wird.

Es folgt aber aus diesem Versuche, daß wir das Vorhandensein des flüssigen Wassers auf der Erde überhaupt lediglich dem Drucke der Atmosphäre zu danken haben. Hörte dieser Druck plötzlich auf, so würden unsere Flüsse, Teiche, alle Seen und Meere unter heftigem Sieden sich in Dampf verwandeln, und nur der Druck der entstandenen Dampfatmosphäre würde der ferneren Dampfbildung und dem Sieden eine Grenze setzen.

Der Leidenfrost'sche Versuch.

Während die Dichte und Elasticität der Dämpfe mit der Temperatur rasch zunimmt, die Dampfbildung um so rascher vorangeht, je mehr Wärme der Flüssigkeit zugeführt wird, das Wasser in einem Gefäße um so heftiger siedet, ein je kräftigeres Feuer unter demselben angebracht ist, zeigt dagegen Wasser mit glühendem Metalle in Berührung gebracht ein höchst auffallendes abweichendes Verhalten. Gießt man nehmlich auf ein glühendes Blech etwas Wasser, so formt sich dasselbe in ähnlicher Art wie Quecksilber auf Glas in kugelförmige Tropfen, welche auf dem glühenden Metalle hin und her rollen. Hört das Metall auf zu glühen und vermindert sich die Temperatur bis auf einen gewissen Grad, so wird unter plötzlicher Dampfbildung das Wasser umher geschleudert.

Digitized by Google

Man erklärt diese Erscheinungen, welche unter dem Namen des Leidenfrost'schen Versuches bekannt sind, am wahrscheinlichsten dadurch, daß bei der Glühhitze sich Dämpfe von einer äußerst hohen Elasticität bilden, welche den Wassertropfen wie eine Atmosphäre umhüllen und die unmittelbare Berührung mit dem Metalle verhindern. Erst wenn bei einer niedrigeren Temperatur sich die Elasticität der Dämpfe vermindert hat, kommt der Tropfen mit dem noch immer stark erhitzten Metall in eine innigere Berührung und wird in Folge der großen Menge Wärme, welche er von dem berührten Metall empfängt, plötzlich in Dampf verwandelt.

Noch überraschender und erstaunenswerther ist die Erscheinung, welche Arbeitern in Schmelzhütten schon seit den ältesten Zeiten bekannt ist, aber von den Physikern fast vergessen, in neuerer Zeit besonders durch Boutigny in Anregung gebracht worden ist, daß Menschen, ohne sich zu verletzen, die Hände in frisch geschmolzenes Metall tauchen oder über frisch gegossene, noch glühende Eisenmassen mit bloßen Füßen gehen können. Diese auffallende Erscheinung, welche zugleich die Erzählungen des Mittelalters über Feuerproben nicht mehr als bloße Mährchen, wofür sie die spätere aufgeklärte Zeit so vielfach ausgegeben hat, erscheinen läßt, findet wahrscheinlich darin ihre Erklärung, daß bei dem Eintauchen der Hand in das geschmolzene Metall eine starke Verdunstung eintritt und sich um die Hand eine Dampfatmosphäre von so starker Elasticität bildet, daß sie die Berührung der Hand mit dem geschmolzenen Metall verhindert.

Uebrigens erfordern derartige Versuche denn doch Vorsicht; das Metall, in welches man die Hand taucht, darf nicht dickflüssig, dem Uebergange in den festen Zustand nahe sein. Auch werden leicht die Spitzen der Nägel und die Haare an den Händen abgesengt. Gefahrloser und das Nehmliche beweisend, kann man den Versuch in der Art anstellen, daß man einen angefeuchteten Fingerhandschuh über ein rundes Holz zieht und denselben in das geschmolzene Metall taucht. Derselbe wird unversehrt wieder herausgezogen.

Verdunstungsfälle.

Wie wir oben ausführlicher gezeigt haben, bilden sich beim Sieden sowohl an der Oberfläche des Wassers, als im Innern, Dämpfe; bei niedrigeren Temperaturen dagegen findet nur an der Oberfläche Dampfbildung statt. Zwischen diesen und den beim Sieden sich bildenden Dämpfen ist kein wesentlicher Unterschied und nur insofern eine Verschiedenheit vorhanden, als die bei höherer Temperatur entstehenden Dämpfe eine größere Dichte und Elasticität besitzen.

Wie ebenfalls schon oben bemerkt, ist, um Wasser, welches bereits die Temperatur von 100 Grad erlangt hat, in Dampf von der nehmlichen Temperatur zu verwandeln, mehr als fünfmal so viel Wärme erforderlich, als hinreicht, Wasser von Null bis 100 Grad zu erwärmen, oder wie wir uns kurz ausdrücken, es werden bei dieser Umwandlung über 500 Grad Wärme gebunden. Eine nicht geringere Wärmemenge wird auch dann gebunden, wenn das Wasser bei niedrigeren Temperaturen allmählig in Dampf übergeht.

Ist unter einem Gefäß mit Wasser Feuer angebracht, so giebt dieses die erforderliche Wärme zunächst an das Gefäß und das Gefäß dann weiter an das verdampfende Wasser ab. Verdunstet dagegen das Wasser allmählig bei einer niedrigeren Temperatur, so wird die zur Dampfbildung nöthige Wärme dem zurückbleibenden Wasser, überhaupt den mit dem verdampfenden Wasser in Berührung stehenden Körpern entzogen. Es müssen daher diese

Digitized by Google

Körper, da die Menge der gebundenen Wärme so äußerst beträchtlich ist, eine erhebliche Erniedrigung ihrer Temperatur erleiden.

In der That lehren unzählige Erfahrungen, daß mit jeder Verdunstung eine beträchtliche Abkühlung derjenigen Körper, welche mit dem verdunstenden Wasser in Berührung stehen, verbunden ist. Ja man benutzt vortheilhaft diese Verdunstungskälte, um Gefäße kühl zu erhalten, indem man sie mit Tüchern, welche man beständig feucht hält, umgiebt. — In Spanien wird das Wasser in porösen Thongefäßen aufbewahrt; indem es fortwährend durchsickert und an der Oberfläche der Gefäße verdunstet, werden diese kühl erhalten. — Auf gleichem Grunde beruht die Kälte, welche wir empfinden, wenn wir aus dem Bade steigen. — Eine sehr wohlthätige Abkühlung der Haut bewirkt der in der Hitze reichlich aus derselben hervordringende und verdunstende Schweiß. Befinden wir uns in einer warmen, ganz mit Dämpfen gesättigten Atmosphäre — wir nennen in diesem Falle die Luft schwül —, so, daß keine Verdunstung stattfinden kann, so haben wir weit mehr von der Hitze zu leiden, als in trockner Luft, in welcher durch rasche Verdunstung des hervorbrechenden Schweißes die Haut fortwährend abgekühlt wird.

Die Verdunstung des Wassers an der Erdoberfläche erfolgt natürlich am stärksten in der heißen Zone. Indem die warme, durch die Ausdunstung der tropischen Meere mit Dämpfen geschwängerte Luft, wie wir oben gesehen haben, vom Aequator beständig nach den Polen hinströmt, condensiren sich in Folge der Abkühlung in den höheren Breiten die Dämpfe und fallen als Regen nieder. Nun werden aber bei der Verdunstung des Wassers, bei dem Uebergange des flüssigen Wassers in den luftförmigen Zustand, mehr als 500 Grad Wärme gebunden, und da die nehmliche Wärmemenge bei der Condensation der Dämpfe zu flüssigem Wasser wieder frei wird, so tragen die angegebenen Verhältnisse wesentlich dazu bei, die Hitze der tropischen Gegenden zu mäßigen und die Temperatur der vom Aequator entfernteren Gegenden zu erhöhen, indem jenen zugleich mit den gebildeten Dämpfen eine große Wärmemenge entführt und den höheren Breiten, in welchen sich die Dämpfe condensiren und als Regen niederfallen, zugeführt wird.

Die durch Verdunstung des Wassers bewirkte Kälte kann unter günstigen Umständen selbst bis unter den Eispunkt herabgehen. Die Bewohner des heißen Ostindiens benutzen dieselbe, um sich in größeren Mengen Eis zu verschaffen. Sie bedecken zu diesem Zwecke ein Feld mehrere Zoll hoch mit Stroh und stellen auf dasselbe Tausende poröser, mit Wasser gefüllter Gefäße. In kühlen Nächten bekleidet sich das Wasser, besonders gegen Morgen, wo gewöhnlich ein sich erhebender Wind die Verdunstung befördert, oft mit einer fast einen Zoll dicken Eisdecke.

So wie bei dem Uebergange des Wassers aus dem flüssigen in den luftförmigen Zustand Wärme gebunden wird, so gilt das Nehmliche auch von allen anderen Flüssigkeiten. Doch ist die Menge dieser Wärme für verschiedene Flüssigkeiten sehr verschieden; sie beträgt z. B. für den Alkohol, wasserfreien Spiritus, etwa 200 Grad, für Schwefeläther 100 Grad.

Wiewohl nun diese beiden Flüssigkeiten bei dem Uebergange in den luftförmigen Zustand viel weniger Wärme binden, als Wasser, so ist doch die Kälte, welche durch die Verdunstung des Alkohols, ganz besonders aber des Schwefeläthers bei der gewöhnlichen Lufttemperatur hervorgebracht wird, viel beträchtlicher, indem der Siedepunkt dieser Flüssigkeiten niedriger, als der des Wassers liegt und dieselben daher rascher, als dieses verdunsten. Es

Digitized by Google

siedet nehmlich der Alkohol bei 78°, der Schwefeläther bei 35°. Die bloße Blutwärme reicht also schon hin, den letztern ins Sieden zu bringen.

Umwickelt man die Kugel eines Thermometers mit Musselin, tröpfelt auf diesen etwas Schwefeläther, und befördert man die Verdunstung durch Luftzug, welchen man etwa vermittelst eines Fächers hervorbringt, so kann man mitten im Sommer oder zur Winterszeit in der geheizten Stube das Thermometer bis mehrere Grade unter dem Eispunkt herabgehen sehen.

Eine noch weit stärkere Abkühlung, die höchsten Grade künstlicher Kälte, welche überhaupt bis jetzt erhalten worden sind, werden hervorgebracht, wenn zu Flüssigkeit condensirte Gase verdunsten, wieder in den luftförmigen Zustand übergehen.

Condensation der Gase.

Wie wir im Vorhergehenden ausführlich gezeigt haben, vermögen die Dämpfe des Wassers — und dasselbe gilt ebenso von den Dämpfen anderer Flüssigkeiten — bei einer bestimmten Temperatur nur einen bestimmten Druck auszuhalten; wird dieser Druck überschritten, so gehen dieselben aus dem luftförmigen Zustande in den flüssigen über. Für die Dämpfe des Wassers und überhaupt derjenigen Körper, welche sich uns für gewöhnlich im flüssigen Zustande zeigen, reicht zur Verdichtung bei der gewöhnlichen Lufttemperatur schon ein geringer Druck aus, welcher noch nicht einmal dem Drucke der Atmosphäre gleichkommt.

Andere luftförmige Körper, zu deren Verdichtung bei der gewöhnlichen Temperatur ein stärkerer Druck, als der Luftdruck erforderlich ist, treffen wir eben deshalb für gewöhnlich im luftförmigen Zustande an; wir vermögen nur auf künstlichem Wege, entweder durch sehr starken Druck oder durch künstlich erregte sehr große Kälte, dieselben in den flüssigen Zustand überzuführen.

Die luftförmigen Körper der letzteren Art, welche bei der gewöhnlichen Lufttemperatur, auch wenn sie den vollen Luftdruck auszuhalten haben, den luftförmigen Zustand beibehalten, pflegt man Gase, die der ersteren Art aber, welche bei der gewöhnlichen Lufttemperatur und einem Drucke, welcher dem Luftdrucke gleich ist oder denselben noch nicht einmal erreicht, zu tropfbarer Flüssigkeit condensirt werden, pflegt man vorzugsweise Dämpfe zu nennen. Es findet also hiernach zwischen Dämpfen und Gasen kein absoluter, sondern nur ein relativer Unterschied statt.

Unsere Leser werden sich zwar erst in einem späteren Abschnitte mit verschiedenen Gasen näher bekannt machen; wir können es jedoch nicht vermeiden, um in Betreff der Condensation der Gase verständlich zu werden, schon hier mit einigen Erörterungen dem Folgenden vorzugreifen.

Die atmosphärische Luft ist kein einfaches Gas, sondern ein Gemenge von zwei Gasen, welche die Namen Sauerstoff und Stickstoff führen. Sie enthält von letzterem ohngefähr $^4/_5$, von ersterem $^1/_5$. Diese beiden Gase machen jedoch nur die beiden Hauptbestandtheile der atmosphärischen Luft; außerdem enthält dieselbe noch andere Gase und Dämpfe, aber in einer verhältnißmäßig nur geringen Menge.

Die atmosphärische Luft ist in neuerer Zeit von Natterer und Redtenbacher in Wien dem ungeheuren Drucke von 3600 Atmosphären, d. h. einem Drucke, welche den Luftdruck 3600 mal überstieg, unterworfen worden, ohne daß es gelungen wäre, dieselbe zu condensiren, in den flüssigen Zustand überzuführen. Ebenso wenig ist dies bei den beiden Gemengtheilen derselben, dem Sauerstoffgase und dem Stickstoffgase, wenn dieselben für sich allein zusammengepreßt wurden, der Fall gewesen. — Außer den genannten haben noch ein Paar andere Gase bis jetzt der Verdichtung widerstanden.

Digitized by Google

Bei weitem die meisten Gase dagegen, welche die Chemie kennen gelehrt hat, gehen, wenn sie einem mehr oder weniger starkem Drucke unterworfen werden, in den flüssigen Zustand über. So z. B. wird das bei der Verwesung organischer, besonders thierischer Körper sich entwickelnde und durch seinen stechenden Geruch ausgezeichnete Ammoniakgas und das Chlorgas, welches durch die Eigenschaft, Pflanzenfarben und Miasmen zu zerstören, ausgezeichnet ist und daher zum Bleichen und bei ansteckenden Krankheiten zum Räuchern benutzt wird, bei der Temperatur von Null Grad und einem Drucke von 4 bis 5 Atmosphären verdichtet. Ein anderes sehr verbreitetes und bekanntes Gas, die Kohlensäure, welche sich beim Gährungsprozesse entwickelt und das Schäumen des Bieres, das Mussiren des Champagners und Selterser Wassers veranlaßt, und an manchen Orten, z. B. in der Dunsthöhle bei Pyrmont, in der Hundsgrotte bei Neapel in großer Menge aus der Erde strömt, verdichtet sich bei dem Drucke von 38 Atmosphären.

In größeren Mengen ist die Kohlensäure zuerst von Thilorier flüssig dargestellt worden. Seine Untersuchungen wurden jedoch dadurch unterbrochen, daß in Folge des starken Druckes das Gefäß platzte und Menschen hierbei das Leben einbüßten. Später sind ähnliche Versuche unter Beobachtung der angemessenen Vorsichtsmaßregeln angestellt worden.

Man verdichtet aber die Gase vermittelst einer Compressionspumpe (vergl. oben S. 39) in einem starken Gefäße, an welchem eine durch einen Hahn verschließbare Oeffnung angebracht ist. Läßt man nach Oeffnung des Hahnes das zur Flüssigkeit verdichtete Gas austreten, so verdunstet dasselbe mit der größten Heftigkeit und erregt hierbei die äußerste Kälte, welche man bis jetzt überhaupt zu erzeugen vermocht hat.

Faraday erhielt als die niedrigste Temperatur durch Verdunstung flüssiger Kohlensäure 110 Grad unter dem Eispunkte. Der absolute Alkohol zeigte sich bei dieser Temperatur dickflüssig wie Oel. In der auf dieser Art erhaltenen äußersten Kälte gehen die zu Flüssigkeit verdichtete Kohlensäure und andere Gase selbst in den festen Zustand über und zeigen dann ein dem Schnee und Eise ähnliches Ansehen.

Die flüssige Kohlensäure kommt schon bei 78 Grad unter dem Eispunkte ins Sieden, d. h. schon bei dieser niedrigen Temperatur haben ihre Dämpfe eine dem einfachen Luftdrucke gleiche Elasticität; bei Null Grad, also beim Eispunkte, ist ihre Elasticität schon dem 38fachen Luftdrucke gleich.

Das noch flüchtigere Stickstoffoxydulgas, dessen sich vorzüglich Dumas bei seinen Versuchen bediente, ein Gas, welches die ausgezeichnete Eigenschaft hat, daß es eingeathmet in ähnlicher Art berauschend wie Champagner wirkt, siedet schon bei 88 Grad unter dem Eispunkte. Im flüssigen Zustande ist dasselbe farblos und durchsichtig; wirft man ein Stückchen Metall in dasselbe, so entsteht ein ähnliches Zischen, wie wenn man glühendes Eisen in Wasser taucht. Quecksilber erzeugt das nehmliche Zischen, erstarrt aber sogleich zu einer harten, spröden, silberweißen Masse.

In hohem Grade überraschend ist ein von Boutigny zuerst mit flüssiger schwefeliger Säure angestellter Versuch. Die schwefelige Säure entwickelt sich allemal in Form eines Gases, wenn Schwefel in der Luft verbrannt wird; wenn sie mit dieser eingeathmet wird, erregt sie heftigen Reiz zum Husten, und sie ist nach dieser üblen Eigenschaft gewiß allen unsern Lesern bekannt.

Digitized by Google

Das schwefeligsaure Gas siedet schon bei 10 Grad unter dem Eispunkte und wird bei Null Grad und einem Drucke von anderthalb Atmosphären flüssig.

Wenn man nun in einem glühenden Tiegel von Platin oder Silber flüssige schwefelige Säure, welche sich in demselben zu einer kugelförmigen Masse gestaltet, gießt und dann etwas Wasser zusetzt, so gefriert dieses in Folge der Verdunstungskälte der schwefeligen Säure trotz der Glühhitze des Platins und läßt sich als Eis aus dem glühenden Tiegel ausschütten. Ja Faraday hat sogar Queckſilber in einer Mischung aus Schwefeläther und fester Kohlensäure in einem glühenden Platintiegel zum Frieren gebracht.

Dämpfe mit Gasen vermischt.

Wir haben zuletzt bei der Erörterung des Ueberganges der flüssigen Körper in den luftförmigen Zustand und des Verhaltens der entwickelten Gase der Dämpfe unsere Leser mit sehr außergewöhnlichen Erscheinungen unterhalten. Wir werden nun wieder allgemein verbreiteten und bekannten Erscheinungen begegnen, wenn wir weiter von den Dämpfen und Gasen in der gegenseitigen Vermischung handeln. In der That treffen wir insbesondere die Wasserdämpfe bei weitem am häufigsten in der Vermischung mit atmosphärischer Luft an. Wir dürfen es wohl als eine Jedermann bekannte Thatsache ansehen, daß in der atmosphärischen Luft jederzeit mehr oder weniger Wasserdampf enthalten ist. Das Beschlagen der Fensterscheiben zur Winterszeit, im Sommer das Bethauen eines kalten Körpers, z. B. eines Glases an der Außenseite, wenn dasselbe mit kaltem, frisch aus dem Brunnen geschöpften Wasser oder mit Bier, Wein u. dgl., welche frisch aus dem kalten Keller geholt worden sind, gefüllt worden ist und in die wärmere Luft des Wohnzimmers gebracht wird, sind bekannte Erscheinungen, welche auf dem angeführten Umstand beruhen.

Hygrometrie.

Von ganz allgemeinem Interesse, aber für den Meteorologen von der äußersten Wichtigkeit ist die Frage nach der Menge der der atmosphärischen Luft beigemengten Dämpfe. Die Methoden zur Beantwortung dieser wichtigen Frage gründen sich auf das von dem Engländer Dalton zuerst aufgestellte und später von anderen Physikern im Wesentlichen bestätigte Gesetz, daß Dämpfe in einem mit Gasen erfüllten Raume, zu denen sie keine chemische Verwandtschaft haben, bei gleicher Temperatur die nehmliche Dichte und Expansivkraft besitzen, wie im luftleeren Raume.

Unsere Leser werden sich erinnern, daß wir oben gezeigt haben, daß ein luftleerer Raum bei einer bestimmten Temperatur nur eine gewisse, aber um so größere Menge Dämpfe zu fassen vermag, je höher seine Temperatur ist. Ist ein Raum mit Dämpfen gesättigt, d. h. ist in demselben die volle Menge der Dämpfe wirklich vorhanden, welche derselbe bei der stattfindenden Temperatur überhaupt zu fassen vermag, so ist jede Temperaturerniedrigung mit der Condensation eines Theiles der vorhandenen Dämpfe verbunden.

Diese Sätze gelten nun zu Folge des Dalton'schen Gesetzes ebensowohl für den lufterfüllten, als für den luftleeren Raum. Ist die atmosphärische Luft, wie dies z. B. bei sehr feuchter Witterung der Fall ist, mit Dämpfen gesättigt, so ergiebt sich unmittelbar aus der bloßen Temperatur der Luft mit Hülfe der weiter unten anzuführenden Tabelle die Expansivkraft des in der Luft vorhandenen Wasserdampfes, und hieraus leiten wir dann weiter leicht die Menge dieses Dampfes ab, da derselbe in dem Verhältniß 5 : 8 leichter ist, als atmosphärische Luft von gleicher Elasticität und Temperatur.

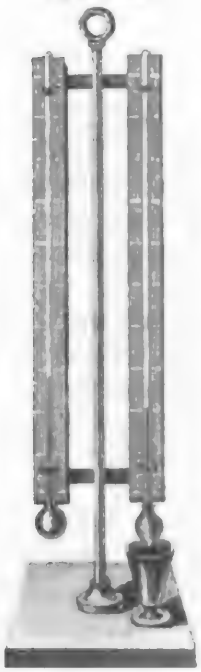
Digitized by Google

Ist aber die Luft nicht mit Dämpfen gesättigt, so hat man zunächst denjenigen Temperaturgrad aufzusuchen, bei welchem die vorhandene Dampfmenge die Luft eben sättigen würde, so daß bei einem Herabgehen der Temperatur unter diesen Punkt ein Niederschlag eintreten würde. Man findet diesen Temperaturgrad, welchen man den Thaupunkt zu nennen pflegt, indem man einen Körper allmählig so lange abkühlt, bis auf demselben der erste Anflug eines Niederschlages sich zeigt.

Weil aber die directe Bestimmung des Thaupunktes umständlich ist, jede über den Feuchtigkeitsgehalt der Luft zu machende Beobachtung vorher die sorgfältige Ausführung eines besonders anzustellenden Versuches erfordert, so hat August in Berlin ein Instrument angegeben, durch dessen Beobachtung sich auch ohne Kenntniß des Thaupunktes der Feuchtigkeitsgehalt der Luft ermitteln läßt.

Diese mit dem Namen Psychrometer belegte Vorrichtung besteht aus zwei sorgfältig construirten und neben einander aufgehängten Thermometern, Fig. 143. Die Kugel des einen ist mit Musselin umwickelt, welcher in ein Gefäß mit Wasser taucht, und wird, indem das Wasser vermöge der Capillaranziehung in dem Musselin emporsteigt, beständig feucht erhalten.

(Fig. 143.)



Das trockene Thermometer zeigt die wahre Lufttemperatur an; das feuchte Thermometer bleibt dagegen hinter dem trockenen um so mehr zurück, je mehr der Dampfgehalt der Luft von der Sättigung entfernt ist, je mehr die Luft noch Dämpfe aufzunehmen vermag und je rascher folglich die Verdunstung des Wassers in dem die Thermometerkugel einhüllenden Musselin erfolgt. Denn um so größer muß auch die durch diese Verdunstung bewirkte Abkühlung sein. — Nur wenn die Luft ganz mit Dämpfen gesättigt sein sollte, und also gar keine Verdunstung statt fände, würden beide Thermometer gleich hoch stehen.

Je größer dagegen der Unterschied in dem Stande der beiden Thermometer ist, um so mehr muß die Luft noch Dämpfe aufzunehmen vermögen, um so weiter muß diese in der Luft wirklich vorhandene Dampfmenge von derjenigen, welche dieselbe bei der stattfindenden Temperatur zu fassen vermöchte, entfernt sein.

Man begreift hiernach wohl die Möglichkeit, aus dem Stande der beiden Thermometer, des trockenen und des feuchten, den wirklichen Dampfgehalt der Luft herzuleiten. Um dieß mit mehr Bequemlichkeit ausführen zu können, sind besondere Tabellen berechnet worden. In der ersten der beiden folgenden Tabellen bedeutet t die Temperatur des angefeuchteten Thermometers, e die Elasticität des Wasserdampfes in Pariser Linien, wenn die Luft mit Dämpfen gesättigt ist, und also das trockene Thermometer nicht höher, als das feuchte steht. Die zweite Tabelle giebt dagegen in der mit e' überschriebenen Spalte an, um wie viel die so erhaltene Elasticität e zu vermindern ist, wenn das trockene Thermometer 1, 2, 3 ... Grade höher steht, als das feuchte. Es bedeutet nehmlich d die Differenz in den Angaben beider Thermometer.

Tafel I.

t	e	t	e	t	e	t	e
0	2,01	8	3,53	16	5,99	24	9,83
1	2,16	9	3,77	17	6,38	25	10,44
2	2,33	10	4,04	18	6,80	26	11,08
3	2,49	11	4,32	19	7,24	27	11,75
4	2,67	12	4,62	20	7,70	28	12,46
5	2,87	13	4,93	21	8,19	29	13,20
6	3,08	14	5,26	22	8,71	30	13,99
7	3,30	15	5,61	23	9,26		

Tafel II.

d	e′
1	0,27
2	0,54
3	0,80
4	1,07
5	1,34
6	1,61
7	1,87
8	2,14
9	2,41
10	2,68

Den Gebrauch dieser Tabellen mag folgendes Beispiel erläutern: Wir wollen annehmen, daß das feuchte Thermometer auf 18 Grad, das trockene Thermometer auf 25 Grad steht; dann ist $t = 18$ und $d = 7$. Hiernach ergiebt sich für $t = 18$ aus der ersten Tabelle $e = 6{,}80$
und für $d = 7$ aus der zweiten Tabelle $e' = 1{,}87$

$4{,}93$

Die Elasticität des in der Luft vorhandenen Wasserdampfes würde also 4,93 oder beinahe 5 Pariser Linien betragen.

Die Angaben des Psychrometers sind jedoch in sofern nicht ganz zuverlässig, als der Stand des feuchten Thermometers von der Stärke des Luftzuges nicht gänzlich unabhängig ist. Man muß daher das Psychrometer an einem gegen zu starken Luftzug geschützten Orte beobachten. Trotz der Unvollkommenheit des Psychrometers ist dasselbe doch das für hygrometrische Beobachtungen am meisten angewendete Instrument, da es bis jetzt den Physikern noch nicht gelungen ist, einen Apparat herzustellen, durch welchen mit gleicher Bequemlichkeit und Sicherheit der Feuchtigkeitsgehalt der Luft, wie z. B. durch das Thermometer die Wärme, durch das Barometer der Druck der Luft gemessen wird. Wir können indeß die Hoffnung hegen, daß spätere Fortschritte der Wissenschaft zu dem erstrebten Ziele führen werden.

Ein solches Instrument würde nicht blos für meteorologische Beobachtungen, sondern auch für gewöhnliche Lebensverhältnisse von der größten Wichtigkeit sein. So wie gegenwärtig in Lazarethen, überhaupt in Krankenzimmern der behandelnde Arzt die für die Genesung der Kranken geeignetste Wärme nicht blos nach seinem Gefühl, sondern nach Thermometergraden beurtheilt, überall zu diesem Zwecke in Krankensälen Thermometer angebracht sind, so würden Beobachtungen eines einfachen und zuverlässigen Hygrometers, welches unmittelbar die relative Feuchtigkeit oder Trockenheit der Luft anzeigte, nicht minder von großer Wichtigkeit sein, da ja durch diese in vielen Krankheiten, ins Besondere in Brustkrankheiten, das Befinden des Patienten wesentlich bedingt wird.

Im Vorhergehenden haben wir gesehen, wie sich mit Hilfe des Psychrometers der absolute Feuchtigkeitsgehalt der Luft ermitteln läßt.

Wir haben jedoch den absoluten von dem relativen Feuchtigkeitsgehalte zu unterscheiden. Unter der absoluten Feuchtigkeit der Luft versteht man nehmlich die in derselben enthaltene Dampfmenge, unter der relativen Feuchtigkeit aber das Verhältniß zwischen der wirklich vorhandenen Dampfmenge und derjenigen, welche die Luft bei der stattfindenden Temperatur zu fassen vermöchte.

Digitized by Google

Wenn an einem kalten Wintertage die Luft ganz mit Dämpfen gesättigt ist, und also die relative Feuchtigkeit den höchsten Grad erreicht hat, so würde doch der nehmliche Gehalt an Wasserdämpfen für einen warmen Sommertag nur einen geringen Grad relativer Feuchtigkeit ergeben, da vermöge der beträchtlich höheren Temperatur die Luft auch eine weit größere Menge an Wasserdämpfen zu fassen vermag.

Im gewöhnlichen Leben ist fast nie von der absoluten, immer nur von der relativen Feuchtigkeit der Luft die Rede; und in der That ist dieselbe für viele Verhältnisse von weit wesentlicherem Einflusse, als der absolute Feuchtigkeitsgehalt der Luft. So hängt die Stärke der Verdunstung, das Trocknen der Wäsche, das Austrocknen der Wege, das langsamere oder raschere Verdunsten des Schweißes, welches eine angenehme und wohlthätige Abkühlung der Haut in der Hitze bewirkt, nicht von der absoluten, sondern von der relativen Feuchtigkeit der Luft ab.

Nach den hygrometrischen Beobachtungen ist der absolute Feuchtigkeitsgehalt der Luft im Sommer, wo eben wegen der höheren Temperatur die Luft auch mehr Dämpfe zu fassen vermag, größer, als im Winter, am Tage beträchtlicher, als in der Nacht. Die Luft ist dagegen zur Zeit der größten Tageswärme, einige Stunden nach Mittag und im Mai relativ am trockensten, und des Morgens bei Sonnenaufgang, wo sie meist ganz mit Dämpfen gesättigt ist, und der Thau am reichlichsten fällt, und im December relativ am feuchtesten.

Nach Dove beträgt die Spannkraft des in der Luft enthaltenen Wasserdampfes für Berlin in den beiden wärmsten Monaten Juli und August im Mittel beinahe 5 Linien, in den beiden kältesten Monaten Januar und Februar dagegen nicht ganz 2 Linien.

Die in der Luft vorhandenen Dämpfe empfängt dieselbe offenbar durch die Verdunstung des an der Erdoberfläche vorhandenen Wassers, vorzüglich der größeren Meere. Was die Binnengewässer und der feuchte Erdboden hierzu beitragen, erscheint dagegen als minder beträchtlich. Die Stärke der Verdunstung wird, wie schon früher bemerkt, durch die relative Trockenheit der Luft bedingt; außerdem wird dieselbe durch den Wind befördert, welcher trockenere, noch nicht mit Dämpfen gesättigte Luftschichten mit der Oberfläche des Wassers in Berührung bringt.

Wir haben in starkem Luftzuge ein empfindliches Gefühl von Kälte, nicht etwa als wenn bewegte Luft kälter wäre, als ruhende — ein trockenes Thermometer steht in dieser auf dem nehmlichen Temperaturgrade wie in jener — sondern weil in der bewegten Luft die Verdunstung des Schweißes rascher erfolgt, also eine stärkere Verdunstungskälte erzeugt wird, wozu auch noch der Umstand tritt, daß die Temperatur der Luft in der Regel beträchtlich niedriger ist, als die Blutwärme, so daß der Haut fortwährend von der bewegten Luft Wärme entzogen wird.

Nebel und Wolken.

Indem die in Folge der Verdunstung mit Dämpfen geschwängerten Luftschichten in höhere und kältere Regionen emporsteigen, oder indem in wärmere, feuchte Luftschichten ein kälterer Luftstrom eindringt, und so die Temperatur bis unter die des Thaupunktes erniedrigt wird, verdichten sich die luftförmigen und eben vermöge ihrer Durchsichtigkeit vollkommen unsichtbaren Dämpfe zunächst zu kleinen Dunstbläschen, welche wir in ihrer Anhäufung, wenn sie auf der Erdoberfläche lagern, als Nebel, wenn sie in der Höhe schweben, als Wolken bezeichnen. Daß Wolken und Nebel an

Digitized by Google

ſich nicht verſchieden ſind, ergiebt die unmittelbare Erfahrung, daß eine Wolke, welche vom Thale aus geſehen auf einem Berge lagert, dem auf dem Berge und in der Wolke befindlichen Beobachter als Nebel erſcheint. Die zahlloſen kleinen Dunſtbläschen, welche dieſelbe zuſammenſetzen, beſtehen wahrſcheinlich, ſowie die Seifenblaſen, aus einem dünnen Waſſerhäutchen, welches inwendig mit Luft oder Waſſerdampf gefüllt iſt.

Das Schweben der Wolken in der Luft, obſchon dieſe Dunſtbläschen ſpecifiſch ſchwerer, als die Luft ſind, erklärt ſich daraus, daß dieſe Bläschen wegen ihrer Kleinheit und Leichtigkeit ſich nur ſehr langſam ſenken, und indem ſie ſo in wärmere Luftſchichten gelangen, ſich wieder auflöſen, während oben ſich neue Dunſtbläschen bilden. Ueberhaupt haben wir uns eine Wolke nicht als etwas Beſtehendes und Bleibendes vorzuſtellen. In ſehr vielen Fällen iſt dieſelbe vielmehr als etwas ſich immer wieder von Neuem an der nehmlichen Stelle Erzeugendes und wieder Vergehendes anzuſehen. So erblicken wir häufig bei übrigens heiterem Himmel die Gipfel der höchſten Berge in Wolken gehüllt. Indem nehmlich die durch den Wind bewegten warmen und feuchten Luftſchichten an dem Gebirge anlangen, ſteigen ſie an demſelben wie an einer ſchiefen Ebene empor, und in Folge der mit der Höhe abnehmenden Temperatur verdichten ſich die Dämpfe derſelben zu Dunſtbläschen und bedecken die Gipfel des Gebirges mit Nebel oder Wolken. Ebenſo müſſen in der freien Luft, da wo ein warmer feuchter und ein beträchtlich kälterer Luftſtrom ſich miſchen, die in jenem enthaltenen Dämpfe ſich zu Dunſtbläschen verdichten; es muß daher an der Stelle, wo dieſe Vermiſchung erfolgt, eine ununterbrochene Wolkenbildung ſtattfinden.

Regen, Schnee und Hagel.

Erfolgt die Condenſation der Dämpfe ſehr raſch und reichlich, ſo vereinigen ſich die in großer Menge vorhandenen Dunſtbläschen zu Tropfen, welche vermöge ihres größeren Gewichtes als Regen niederfallen. Liegt die in der Wolke ſtattfindende Temperatur unter dem Eispunkte, ſo wird nicht Regen, ſondern Schnee gebildet.

Sehr gewöhnlich ſchweben die Wolken in einer ſolchen Höhe, in welcher die Temperatur, auch wenn das Thermometer an der Erdoberfläche mehrere Grade über Null zeigt, unter den Eispunkt herabgeht. Indem aber die in der Höhe gebildeten Schneeflocken in die wärmeren Luftſchichten gelangen und ſchmelzen, fallen ſie in dieſer als Regentropfen nieder. So geſchieht es häufig, daß auf hohen Bergen Schnee und zu gleicher Zeit im Thale Regen fällt.

(Fig. 144.)

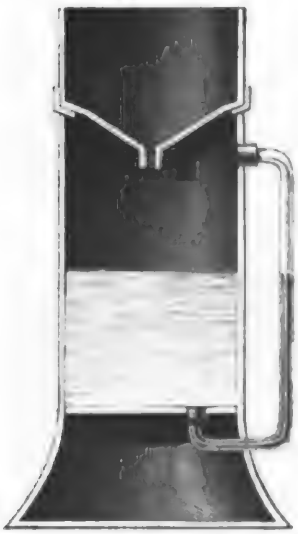
Wenn man im Winter die Schneeflocken mit einem kalten Körper auffängt, ſo ſieht man, daß dieſelben die Geſtalt regelmäßiger, gewöhnlich ſechseckiger Sterne zeigen und aus feinen nadelförmigen Kryſtallen zuſammengeſetzt ſind. Fig. 144 ſtellt einige dieſer Geſtalten dar. Dieſelben zeigen ſich am ſchönſten in kalten Wintern in den höheren Breiten.

Zu den noch nicht vollſtändig aufgeklärten Erſcheinungen gehört der beſonders im Sommer in der Form größerer Eismaſſen niederfallende Hagel. Dieſe Eisklumpen erreichen zuweilen einen Durchmeſſer

von einem oder mehreren Zollen und bestehen aus concentrischen sich gegenseitig einhüllenden Schichten, welche abwechselnd mehr eisartig und durchsichtig und mehr schneeartig und undurchsichtig sind. Wir können vielleicht annehmen, daß bei großer Sommerhitze und Windstille sehr warme feuchte Luftschichten sich unvermischt bis zu außerordentlicher Höhe erheben, in welcher die Temperatur der umgebenden Luftschichten tief unter dem Gefrierpunkte liegt, und daß dann beim Eindringen eines eiskalten Luftstromes die plötzlich condensirten Dämpfe zu Eis erstarren. Allein auch diese Annahme reicht zur Erklärung der oft mehrere Loth schweren, wie schon angegeben, aus concentrischen Schalen bestehenden Hagelmassen nicht aus. Wir müssen uns daher nur der Hoffnung überlassen, daß auch in dieses Dunkel fortgesetzte Beobachtungen und Forschungen in späterer Zeit ein Aufschluß gewährendes Licht bringen werden.

Von nicht geringem Interesse ist die Frage nach der Menge des als Regen, Schnee oder Hagel aus der Atmosphäre an einem Orte in bestimmten Zeiträumen, z. B. monatlich oder jährlich, niederfallenden Wassers. Zur Abmessung desselben dienen die sogenannten Ombrometer oder Regenmesser. Ein solcher besteht in der einfachsten Einrichtung aus zwei cylinderförmigen Gefäßen, Fig. 145, von denen das obere sich in einen Trichter verengende und dicht an das untere anschließende Gefäß mit diesem ganz gleichen Durchmesser hat. Ein an der Außenseite des unteren Gefäßes angebrachtes und mit demselben communicirendes Glasrohr zeigt den Stand des Wassers in diesem Gefäße an.

(Fig. 145.)



Man sieht wohl leicht ein, daß die Höhe, bis zu welcher das Regenwasser in dem Gefäße steigt, von der Weite ganz unabhängig ist. In ein weiteres Gefäß liefert der nehmliche Regen natürlich mehr Wasser, als in ein engeres; aber die Höhe, welche das Wasser in diesen Gefäßen erreicht, ist für beide die nehmliche; sie ist dieselbe, bis zu welcher das Regenwasser auf der Erdoberfläche überhaupt steigen würde, wenn dasselbe hier keinen Abfluß hätte.

Die Menge des jährlich niederfallenden Regens ist selbst für verschiedene Gegenden Deutschlands sehr verschieden; sie beträgt im Mittel für Prag nur etwa 14 Pariser Zoll, für Wien 16, für Berlin 22, für Göttingen und Karlsruhe 25, für Cleve 30, für Triest 40 Pariser Zoll.

Von großem Einfluß auf die Menge des jährlich an einem Orte niederfallenden Regens ist die Lage desselben gegen das Meer, gegen benachbarte Gebirge und die Erhebung über die Meeresfläche. Während z. B. Prag in Böhmen bei einer Meereshöhe von 500 Fuß im Mittel nur eine jährliche Regenmenge von 14 Zoll hat, steigt dieselbe in dem ebenfalls in Böhmen, aber in der Höhe von 2500 Fuß gelegenen Städtchen Rehberg auf 62 Zoll. Den Grund, warum in Gebirgen im Allgemeinen mehr Regen niederfällt als in ebenen Gegenden, haben wir schon oben bei der Wolkenbildung kennen gelernt.

Auch an dem nehmlichen Orte ist die Menge des Regens für verschiedene Jahre verschieden; sie kann in einem Jahre selbst mehr, als doppelt so groß, als in einem anderen sein.

Die Zahl der jährlichen Regentage beträgt im Allgemeinen für Deutschland etwa 146. — Auf den Winter kommen deren ohngefähr eben so viele als auf den Sommer; dagegen ist in den meisten Gegenden Deutschlands die Regenmenge im Sommer (in den Monaten Juni, Juli, August) am größten, in den Wintermonaten (December, Januar, Februar) die Menge des aus der Atmosphäre als Regen oder Schnee niederfallenden Wassers am kleinsten und nahe zu das Mittel haltend im Frühlinge (März, April, Mai) und im Herbste (September, October, November).

Im Sommer fällt bei einem Gewitterregen in wenigen Stunden oft eine größere Wassermasse nieder, als im Winter in mehreren Tagen oder Wochen.

Für die verschiedenen Gegenden der Erdoberfläche nimmt die jährliche Regenmenge im Allgemeinen mit der Annäherung an den Aequator zu, mit der Entfernung von demselben und der Annäherung an die Pole ab. Die Zahl der Regentage dagegen wächst mit der Entfernung vom Aequator und der Annäherung an die Pole.

Höchst ausgezeichnet sind die Regenverhältnisse in der heißen Zone. Bekanntlich zerfällt für den größten Theil derselben das Jahr in zwei Theile, die trockene und die nasse Jahreszeit; die letztere beginnt mit der Annäherung der Sonne an das Zenith und hat für verschiedene Gegenden eine verschiedene Dauer, etwa drei bis fünf Monate. In dieser Zeit strömt der Regen in den heftigsten Güssen von etwa 9 Uhr Morgens bis 4 Uhr Nachmittags hernieder; in den übrigen Tagesstunden und während der Nacht ist der Himmel wieder vollkommen heiter. Mit der Entfernung der Sonne vom Zenith nimmt auch die Heftigkeit des niederfallenden Regens allmählig ab, und es folgt nun die trockene Jahreszeit.

Die größte bis jetzt auf der Erde beobachtete Regenmenge bietet Cherraponjie am Südabhange der Cossyahills in Bengalen dar. Dieselbe erreichte für das Jahr 1851 die enorme Größe von 573 Pariser Zoll. Während in den Monaten November und December gar kein Regen gefallen zu sein scheint, die Regenmenge der Monate Januar, Februar und März noch nicht 5 Zoll erreicht, erhebt sich dieselbe im April schon auf 26 Zoll, steigt in den Monaten Mai und Juni 108 bis 138 Zoll, beträgt im Juli, August, September 94, 97, 67 Zoll und im October noch 38 Zoll.

Die Regenmenge Cherraponjie's ist jedoch selbst für die tropischen Gegenden als etwas Ungewöhnliches zu betrachten; im Allgemeinen schwankt dieselbe in diesen Gegenden jährlich etwa zwischen 70 und 100 Zoll.

In der Nähe des Aequators, in der Region der Calmen, in welcher, wie oben angegeben, Windstille mit den stärksten Stürmen wechselt, finden das ganze Jahr hindurch in den Nachmittagsstunden heftige, von Gewittern begleitete Regengüsse statt.

In denjenigen Gegenden der heißen Zone dagegen, wo in offenen Meeren oder an flachen Küsten das ganze Jahr hindurch der Nord- oder Südostpassat regelmäßig weht, ist auch der Himmel fast beständig heiter und der Regen eine seltene Erscheinung. Auch in anderen Gegenden der Erde, in der Sahara, in Oberägypten, an den Küsten von Arabien, auf der Hochebene von Iran in Persien, fällt nie oder nur selten Regen, indem in der trockenen Luft dieser durch die Sonnenstrahlen stark erhitzten Gegenden die durch Winde herbeigeführten Dünste sich wieder auflösen. Nur wo in diesen Gegenden sich Gebirge erheben, welche die mit Dämpfen geschwängerten

Digitized by Google

Luftschichten zu größeren Höhen emporzusteigen nöthigen, bewirkt die mit der Höhe abnehmende Temperatur eine reichlichere Condensation der Dämpfe und das Herabfallen von Regen.

Fortpflanzung der Wärme.

Nachdem wir uns bis hierher mit den Wirkungen der Wärme, nehmlich mit der durch die Wärme bewirkten Ausdehnung der Körper, und mit der Aenderung des Aggregatzustandes beschäftigt haben, wenden wir uns nun zu dem zweiten Theile der Wärmelehre und handeln weiter von der Fortpflanzung der Wärme.

Die Wärme pflanzt sich auf zwei wesentlich verschiedene Arten fort. Dieselbe geht nehmlich entweder aus einem Körper in einen anderen, ihn unmittelbar berührenden über, — oder sie pflanzt sich in ähnlicher Art wie das Licht fort, indem dieselbe von einem Körper zu einem anderen, beliebig weit entfernten Körper übergeht, ohne daß sie von den Uebergang vermittelnden Körpern übergeführt wird. Man nennt die erstere Art der Wärmefortpflanzung Leitung, die letztere aber Strahlung.

Wärmeleitung.

Wir handeln zunächst von der Wärmeleitung. Bekanntlich besitzen verschiedene Körper ein sehr verschiedenes Vermögen, die Wärme fortzuleiten. Im höchsten Maaße kommt diese Eigenschaft den Metallen zu. Glas, Holz, Federn, thierische Felle, sind dagegen schlechte Leiter der Wärme. Wir umgeben unsern eigenen Körper zur Winterzeit, um ihm die Wärme zu erhalten, mit möglichst schlechten Wärmeleitern. An metallenen Gefäßen werden hölzerne Griffe angebracht, um dieselben, auch wenn sie erhitzt sind, tragen zu können u. dgl. m.

Die flüssigen Körper sind, mit Ausnahme des metallischen Queckſilbers, sämmtlich schlechte Wärmeleiter. Dennoch verbreitet sich durch das Wasser oder eine andere Flüssigkeit die Wärme ziemlich rasch, wenn unter demselben ein Feuer angebracht wird, indem die unteren erwärmten Theile emporsteigen und durch andere noch kalte ersetzt werden, und so in Folge fortwährender Strömung sämmtliche Theile der Flüssigkeit mit dem erhitzten Boden des Gefäßes in Berührung kommen.

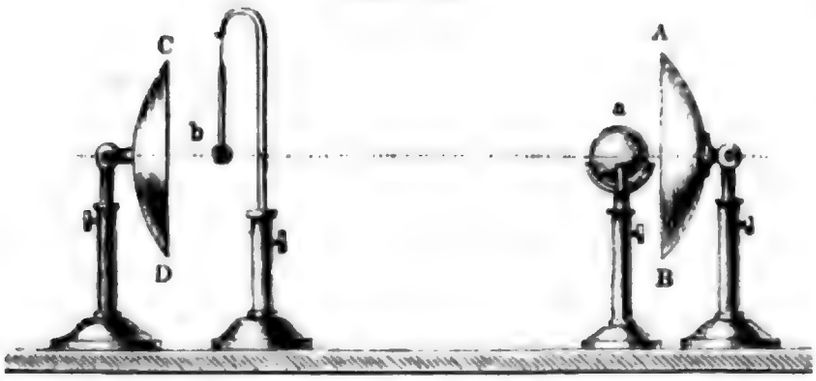
Die luftförmigen Körper leiten die Wärme so äußerst schlecht, daß es kaum möglich ist, das Leitungsvermögen derselben auf directem Wege durch Versuche nachzuweisen, zumal die Wärme dieselben strahlend durchdringt. Betten, Pelze und dergleichen Körper verdanken ihr geringes Leitungsvermögen für Wärme hauptsächlich dem Umstande, daß zwischen den Federn, Haaren u. dgl. eine Luftschicht gefangen gehalten wird, und die Luft, wie gesagt, ein äußerst schlechter Wärmeleiter ist.

Wärmestrahlung.

Wenden wir uns nun von diesen allgemein bekannten Erscheinungen zu der zweiten, minder augenfälligen Art der Wärmefortpflanzung, der Strahlung. Wir beginnen damit, unsern Lesern den folgenden, entscheidenden Versuch vorzuführen, welcher zuerst von Pictet in Genf 1788 angestellt worden ist. Zwei Hohlspiegel werden einander gegenüber so aufgestellt, daß ihre Axen in eine Linie fallen; bringt man dann in den Brennpunkt des einen Spiegels einen leuchtenden Körper, so werden die von demselben auf diesen Spiegel fallenden Strahlen parallel mit der Axe zurückgeworfen; sie treffen folglich auch den andern Spiegel in einer der Axe desselben parallelen Richtung und werden daher von diesem so zurückgeworfen, daß sie sich in dem Brennpunkte desselben vereinigen. — Auf diese Art würden sich zu Folge dessen, was wir oben über das Licht vorgetragen haben, Lichtstrahlen verhalten.

Digitized by Google

(Fig. 146.)



Bringt man weiter in den Brennpunkt b des Spiegels CD, Fig. 146, ein empfindliches Thermometer — ein Lufthermometer würde sich wegen seiner größeren Empfindlichkeit hierzu noch besser, als ein Queckſilberthermometer eignen — und in den Brennpunkt a des Spiegels AB einen erwärmten, aber nicht leuchtenden Körper, z. B. eine erhitzte eiſerne Kugel oder ein kleines Gefäß mit heißem Waſſer u. dgl., ſo ſieht man das in b angebrachte Thermometer ſteigen, ſelbſt wenn die Spiegel zwanzig und mehr Fuß von einander entfernt ſind. Das Thermometer kehrt auf den früheren Stand zurück, wenn einer der Spiegel mit einem Schirme bedeckt wird, und es beginnt von Neuem zu ſteigen, ſo wie der Schirm wieder weggezogen wird.

Wir ſehen aus dieſem Verſuche, daß auch von erwärmten, nicht leuchtenden Körpern Strahlen ausgehen, welche auf das Thermometer wirken, und daß dieſe dunklen Wärmeſtrahlen ſich ebenſo wie die Lichtſtrahlen in gerader Linie fortpflanzen und nach demſelben Geſetze, wie dieſe, zurückgeworfen werden.

Stellt man den Verſuch im Winter an zu einer Zeit, wenn das Thermometer mehrere Grade unter dem Eispunkte ſteht, ſo wird man finden, daß auch ein Körper, deſſen Temperatur nur Null Grad oder nur wenige Grade darüber beträgt, wenn er in den Brennpunkt des einen Spiegels gebracht wird, erwärmend auf das im Brennpunkte des andern Spiegels befindliche Thermometer wirkt, wonach wir wohl nicht zweifeln können, daß von allen Körpern bei jeder Temperatur Wärme ausgeſtrahlt wird.

In Folge dieſer Ausſtrahlung müßten ſich die Körper immer mehr abkühlen, wenn ſie nicht für den Verluſt, welchen ſie durch die Ausſtrahlung erleiden, durch die von den umgebenden Körpern ihnen zugeſendeten Wärmeſtrahlen Erſatz erhielten. Dagegen wird allerdings die Temperatur eines Körpers ſteigen oder fallen müſſen, wenn er von anderen Körpern mehr oder weniger Wärmeſtrahlen empfängt, als er ſelbſt ausſendet.

Ein ſehr deutliches Beiſpiel für dieſes Verhältniß bietet unſere Erde dar. Sie empfängt das ganze Jahr hindurch von anderen Himmelskörpern, beſonders von der Sonne, Wärmeſtrahlen und ſtrahlt ſelbſt fortwährend Wärme in den Weltraum aus. Ohne dieſe Ausſtrahlung müßte die Wärme auf der Erde beſtändig zunehmen. Dieß iſt aber nur im Sommer wirklich der Fall, weil die Erde dann mehr Wärme empfängt, als ausſtrahlt. Im Winter dagegen beträgt die ausgeſtrahlte Wärme mehr, als der Erſatz, welchen die Erde an zugeſendeten Wärmeſtrahlen empfängt, und die Temperatur muß daher ſinken.

Die Menge der Wärme, welche überhaupt ein Körper ausſtrahlt, iſt um ſo größer, je höher ſeine Temperatur iſt. Sie iſt z. B. bei einem ſtark geheizten eiſernen Ofen, auch wenn derſelbe noch nicht glüht, ſo beträchtlich, daß wir dieſelbe ſchon in der Entfernung mehrerer Fuße im Ge-

Digitized by Google

sicht empfinden. Jeder zwischen dem Ofen und dem Gesichte angebrachte Schirm vermag, weil die Wärmestrahlen sich in gerader Linie fortpflanzen, die unangenehme Empfindung aufzuheben.

Die Menge der ausgestrahlten Wärme hängt jedoch nicht blos von der Temperatur, sondern auch von der Beschaffenheit der ausstrahlenden Oberfläche ab. Dunkle Flächen strahlen im Allgemeinen die Wärme stärker aus, als helle, weniger dichte stärker, als dichtere. Unter allen bekannten Körpern strahlt der Kienruß die Wärme am stärksten aus.

Man kann diese Verhältnisse sehr zweckmäßig durch den folgenden von Leslie (1804) angegebenen Versuch nachweisen. An einem kleinen metallenen, würfelförmigen Gefäße ist eine der vier Seitenwände blank polirt, die andere rauh oder geritzt, wodurch weichere Stellen des Metalls blos gelegt werden, die dritte mit einer Glasplatte bedeckt und endlich die vierte mit Kienruß geschwärzt. Füllt man diesen Würfel mit heißem Wasser und bringt ihn dann in den Brennpunkt des einen der beiden in der oben angegebenen Art aufgestellten Spiegel, so sieht man das in dem Brennpunkte des anderen Spiegels angebrachte Thermometer am stärksten steigen, wenn der Würfel gegen den Spiegel, in dessen Brennpunkt er sich befindet, die mit Kienruß geschwärzte Seite, weniger stark, wenn er gegen denselben die mit einer Glasplatte bedeckte Seite, noch weniger, wenn er die rauhe oder geritzte, und am wenigsten, wenn er die polirte Seite gegen diesen Spiegel wendet.

Diejenigen Oberflächen, welche die Wärme am stärksten ausstrahlen, verschlucken auch von den auffallenden Strahlen am meisten und reflectiren am wenigsten. Sie empfangen daher auch für die stärkere Ausstrahlung von den umgebenden Körpern einen reichlicheren Ersatz, als solche Körper, welche weniger ausstrahlen.

Wie schon oben bemerkt, wird das Ausstrahlungs- oder Emissionsvermögen und also auch das Absorptionsvermögen eines Körpers wesentlich durch die Farbe bedingt; dunkle Flächen strahlen stärker aus und absorbiren stärker, als helle. Auch die Sonnenstrahlen werden von dunklen Flächen stärker absorbirt, als von hellen. Wir haben daher im Sommer in heller Kleidung weniger, als in dunkler von der Sonnenhitze zu leiden. Den blendend weißen Schnee vermag die Sonne nur langsam zu schmelzen; weit rascher geschieht dieß, wenn derselbe durch Schmutz seine weiße Farbe eingebüßt hat. Ebenso sieht man häufig bei heiterem Winterwetter den Schnee zuerst um Baumstämme, aus dem Schnee hervorragende Pfähle, Steine u. dgl. geschmolzen, weil diese Körper vermöge ihrer dunkleren Farbe stärker durch die Sonnenstrahlen erwärmt werden.

So wie der weiße Schnee die Wärmestrahlen schwach absorbirt, so strahlt er auch wenig aus. Er bildet daher auch in dieser Hinsicht im Winter für das Erdreich eine schützende Decke, welches vermöge seiner grauen Farbe weit mehr ausstrahlen und zumal in heiteren Winternächten sich noch viel stärker, als die weiße Schneedecke abkühlen würde.

Die Wärmestrahlen befolgen nicht blos in Beziehung auf Fortpflanzung und Zurückwerfung die nehmlichen Gesetze wie die Lichtstrahlen; sie werden auch so wie diese von gewissen Körpern durchgelassen und gebrochen. In den meisten Fällen kann man annehmen, daß diejenigen Körper, welche die Lichtstrahlen durchlassen, auch den Wärmestrahlen einen Durchgang gestatten; man darf jedoch nicht aus dem Verhältnisse, nach welchem das Eine geschieht, auch auf das Andere schließen; die durchsichtigsten Körper sind keines-

Digitized by Google

weges auch unbedingt für die Wärmestrahlen die am meisten durchdringlichen, oder wie man sagt, diatherman.

Unter allen bekannten Körpern ist Steinsalz am meisten diatherman, d. h. es läßt die Wärmestrahlen am reichlichsten hindurch. Glas, Wasser lassen die Wärmestrahlen, welche von leuchtenden Körpern, ins Besondere von der Sonne ausgehen, reichlich hindurch; sie verschlucken dagegen die von nicht leuchtenden Körpern ausgesendeten Wärmestrahlen fast gänzlich.

Ueberhaupt giebt es verschiedenartige Wärmestrahlen, welche ebenso wie die verschiedenfarbigen Lichtstrahlen von verschiedenen Körpern nach ungleichen Verhältnissen durchgelassen und zurückgeworfen werden. Wir verdanken diese Entdeckung der verschiedenartigen Wärmestrahlen, welchen man auch den Namen Wärmefarben beilegt, vorzüglich den von Melloni (1831) angestellten Untersuchungen. — Andere Physiker, Forbes in England, Fizeau und Foucault in Frankreich, Knoblauch in Marburg, haben auch noch die Uebereinstimmung der Wärmestrahlen mit den Lichtstrahlen darin nachgewiesen, daß dieselben ebenso wie die Lichtstrahlen Erscheinungen der Polarisation, der Interferenz und der Beugung zeigen.

Wenn diese Uebereinstimmung zwischen Wärme- und Lichtstrahlen mit einem hohen Grade von Wahrscheinlichkeit zu der Ansicht führt, daß Wärme und Licht überhaupt nicht verschieden sind, so ist es doch den Physikern bis jetzt noch nicht gelungen, die Erscheinungen der Wärme sämmtlich auf das nehmliche Princip zurückzuführen.

Der Thau und der Reif.

Wir wenden uns nun zur Erklärung zweier, vorzugsweise auf der Wärmestrahlung beruhenden Naturerscheinungen, des Thaues und des Reifs. Indem die Oberfläche der Erde zur Nachtzeit Wärme in den Weltraum ausstrahlt, ohne hierfür, wie am Tage, Ersatz durch die Sonnenstrahlen zu erhalten, geschieht es besonders in heiteren Nächten sehr gewöhnlich, daß die Temperatur der an der Erdoberfläche befindlichen Körper bis mehrere Grade unter die Lufttemperatur herabgeht, und sich an denselben die in der Luft enthaltenen Dämpfe in Form von Tropfen condensiren, welchen wir den Namen Thau beilegen. Der Thau erscheint dagegen als Reif, wenn die Temperatur bis unter Null Grad sinkt.

Der Thau oder Reif zeigt sich weniger reichlich in bewölkten, als in heiteren Nächten, weil im ersteren Falle die Wolken Wärme zurückstrahlen und so den Körpern an der Oberfläche der Erde für die ausgestrahlte Wärme einen hinreichenden Ersatz gewähren. Ebenso bethauen Körper unter einem Dache oder Schirme wenig oder gar nicht. Gräser und andere frei in die Luft hineinragende dünne Körper bethauen stärker, als der feste Erdboden oder Steine, weil diese wegen ihrer größeren Masse langsamer und weniger erkalten. Der Thau fällt reichlicher in windstillen, als in windigen Nächten, weil in letzterem Falle dadurch, daß immer neue, noch warme Luftschichten mit den Körpern an der Erdoberfläche in Berührung kommen, eine beträchtliche Abkühlung dieser letzteren unter die Lufttemperatur verhindert wird. Aus gleichen Gründen fällt der Thau reichlicher in der Ebene, als an Bergen, weil an diesen die erkaltenden Luftschichten herabgleiten und durch andere noch warme ersetzt werden. Man sieht daher häufig im Frühjahre oder Herbst durch Nachtfröste beträchtlicheren Schaden in den Thälern, als an den Abhängen der Berge angerichtet.

Zum Schlusse unseres Vortrags über die Wärme werfen wir noch einen Blick auf die Wärmeverhältnisse der verschiedenen Gegenden der Erdoberfläche.

Digitized by Google

Wir berücksichtigen in dieser Hinsicht die Temperatur der Luft, des festen Erdbodens und der Gewässer.

Temperatur der Luft.

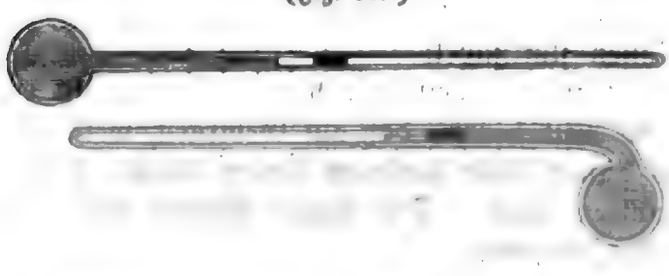
Zur Beobachtung der Lufttemperatur wird ein Thermometer im Schatten, am besten an der Nordseite eines Gebäudes etwa in dem Abstande eines halben oder ganzen Fußes von der Mauer und in der Höhe von einigen Fußen über dem Erdboden aufgehängt. Zwei richtig construirte und im Schatten gehörig aufgehängte Thermometer werden auch (mit geringer Differenz) den nehmlichen Grad der Lufttemperatur angeben. Zwei Thermometer dagegen, welche von den Sonnenstrahlen getroffen werden, können sehr verschiedene Temperaturen zeigen. Der Stand derselben wird durch mannigfache Nebenumstände, ins Besondere durch die Beschaffenheit des Glases, nehmlich durch das Verhältniß, in welchem von demselben die Sonnenstrahlen absorbirt werden, bedingt. Ein Thermometer mit dunklem Glase, oder dessen Kugel geschwärzt worden, wird viel höher stehen, als ein Thermometer mit blanker, glänzender Kugel. Man pflegt daher für meteorologische Zwecke das Thermometer im Schatten zu beobachten, zumal wenn es sich darum handelt, nicht sowohl die erwärmende Kraft der Sonnenstrahlen, als die stattfindende Temperatur der Luft zu messen.

Wenn man während eines Tages die Lufttemperatur in kurzen Zeitabschnitten, etwa alle Stunden beobachtet und aus sämmtlichen 24 Beobachtungen das Mittel nimmt, so erhält man die mittlere Temperatur des Tages.

Da jedoch dieses Verfahren höchst lästig und zeitraubend wäre, so hat man zwar für einige Monate die Beobachtungen in der angegebenen Art durchgeführt. Man hat aber diese Beobachtungen benutzt, Methoden abzuleiten, wie sich schon aus zwei oder drei, an einem Tage angestellten Temperaturbeobachtungen die mittlere Temperatur dieses Tages herleiten läßt. Man hat auf diese Art gefunden, daß das arithmetische Mittel zwischen der höchsten und niedrigsten Temperatur eines Tages oder zwischen den Temperaturen der gleichnamigen Stunden 10 Uhr Morgens und Abends oder 4 Uhr Morgens und Abends der wahren mittleren Temperatur des Tages sehr nahe kommt. Ebenso eignen sich für diese Zwecke die drei Stunden 7 Uhr Morgens, 12 Uhr Mittags und 10 Uhr Abends. Man erhält aus den an diesen drei Stunden angestellten Temperaturbeobachtungen sehr nahe die mittlere Temperatur des Tages, indem man dieselben addirt und die Summe derselben durch 3 dividirt. Außer den angegebenen existiren natürlich noch unzählige andere Combinationen, welche alle zu dem richtigen Resultate führen.

Zur Beobachtung der höchsten und niedrigsten Tagestemperatur dient sehr bequem der Thermograph. Dieser besteht aus zwei wagerecht liegenden Thermometern, einem Quecksilber- und einem Weingeistthermometer, Fig. 147. In dem erstern befindet sich vor dem Quecksilber in der Röhre ein kleines Stäbchen von Eisen. Indem dieses bei dem Steigen der Temperatur von dem Quecksilber voran geschoben, bei sinkender Temperatur aber nicht wieder mit zurückgezogen wird, zeigt dasselbe den höchsten Stand an, welchen überhaupt innerhalb einer gewissen Zeit

(Fig. 147.)



das Queckſilber im Thermometer erreicht hat. Bei dem Weingeiſtthermometer befindet ſich innerhalb des Weingeiſtes ein kleines Stäbchen von Glas. So wie der Weingeiſt bei ſinkender Temperatur ſich zurückzieht, wird in Folge der Capillaranziehung auch das Stäbchen Glas mit fortgezogen. Das Stäbchen bleibt dagegen unverändert an der eingenommenen Stelle liegen, der Weingeiſt fließt neben demſelben vorbei, ohne es mit fortzubewegen, wenn die Temperatur ſteigt. Es giebt daher das Stäbchen den niedrigſten Stand an, welchen der Weingeiſt in der Zwiſchenzeit erreicht hat.

Die niedrigſte Temperatur tritt gewöhnlich gegen Sonnenaufgang, die höchſte in den kürzeſten Tagen gegen 1 Uhr, in den längſten Tagen zwiſchen 2 und 3 Uhr Nachmittags ein. Daß die höchſte Temperatur nicht auf den Mittag, wo die Sonne am höchſten ſteht, fällt, erklärt ſich einfach daraus, daß die Erdoberfläche und die Luft erſt allmählich durch die Sonnenſtrahlen erwärmt werden.

Ebenſo fällt die größte und geringſte Jahreswärme nicht mit den längſten und kürzeſten Tagen, in denen die Sonne den höchſten und niedrigſten Stand hat, zuſammen, ſondern tritt in der Regel erſt ſpäter ein.

Wenn man aus den mittleren Temperaturen aller Tage eines Monates wiederum das Mittel zieht, ſo erhält man die mittlere Temperatur des Monates und ebenſo aus den mittleren Temperaturen aller Monate die mittlere Temperatur des Jahres. Hat man die Beobachtungen eine längere Reihe von Jahren fortgeſetzt, ſo ergiebt ſich endlich, wenn man von den mittleren Temperaturen ſämmtlicher Beobachtungsjahre das Mittel nimmt, die mittlere Temperatur des Ortes. Die mittleren Temperaturen einzelner Jahre fallen nicht ſelten um 1 bis 2 Grad höher oder niedriger, als dieſe aus.

In unſeren Gegenden iſt in der Regel der Januar der kälteſte, der Juli der heißeſte Monat; die mittlere Temperatur des Aprils oder Octobers weicht gewöhnlich von der des Jahres nur wenig ab.

Abnahme der Lufttemperatur mit der Höhe.

Im Allgemeinen nimmt für die verſchiedenen Gegenden der Erdoberfläche die mittlere Temperatur mit der Entfernung vom Aequator und der Annäherung an die Pole zu. Orte, welche unter derſelben geographiſchen Breite liegen, haben jedoch nicht immer eine gleiche mittlere Jahreswärme. Vielmehr können verſchiedene Umſtände hierin ſehr erhebliche Abweichungen hervorbringen.

Von weſentlichem Einfluſſe auf die mittlere Temperatur eines Ortes iſt zunächſt die Erhebung deſſelben über die Meeresfläche. In den Alpen nimmt bei einem Steigen von etwa 500 bis 600 Fuß die Temperatur um 1 Grad ab. Dieſe Größe, um welche man ſich erheben muß, damit das Thermometer um 1 Grad fällt, iſt jedoch nicht für alle Gegenden der Erde die nehmliche; ſie iſt geringer bei einzelnen hervorragenden Berggipfeln, als bei Hochebenen und größeren Gebirgsmaſſen, weil hier ein innigerer Zuſammenhang mit den unteren wärmeren Maſſen und daher eine vollſtändigere Fortleitung der Wärme aus dieſen nach den oberen Maſſen ſtattfindet.

Die Schneegrenze.

Ueberall auf der Erde, ſelbſt in den heißeſten Klimaten, geht in einer gewiſſen Höhe die Temperatur ſo weit herab, daß auf Gebirgen, welche dieſe Höhe erreichen, der Schnee das ganze Jahr hindurch liegen bleibt, auch im Sommer nicht mehr weggeſchmolzen wird. Die untere Grenze des ewigen Schnees wird die Schneegrenze genannt.

Dieſelbe liegt natürlich in der heißen Zone am höchſten und ſenkt ſich gegen die Pole mehr und mehr. Sie erhebt ſich zu Quito am Aequator zur Höhe von 15,000 Fuß, hat in den Alpen in 46 Grad nördlicher Breite

Digitized by Google

noch die Höhe von 8400 Fuß, und geht an den Küsten Norwegens in der Breite von 71 Grad bis zu 2200 Fuß herab.

Die Höhe der Schneegrenze hängt jedoch nicht blos von der geographischen Breite oder von der mittleren Temperatur einer Gegend ab; sie wird wesentlich bedingt auch durch die Menge des im Winter fallenden Schnees und die Wärme des Sommers.

So wird am südlichen Abhange des Himalaya-Gebirges in der nördl. Breite von 31 Grad, der ewige Schnee schon in der Höhe von 12,300 Fuß, am nördlichen Abhange aber erst in 15,700 Fuß Höhe angetroffen. Es geht dieselbe also am südlichen Abhange um 3400 Fuß tiefer, als am nördlichen herab. Die vom Meere her wehenden feuchten Südwinde entladen, indem sie an der Südseite des Gebirges emporsteigen, den größten Theil ihrer Dämpfe in reichen Niederschlägen, im Winter in starken Schneefällen. Ueberdieß übertrifft noch die in eine Hochebene sich ausbreitende Nordseite des Gebirges die steil abfallende Südseite in der Wärme des Sommers.

Ebenso geht in der gleichen Breite von 43 Grad in den im Winter an Schnee reicheren Pyrenäen die Grenze des ewigen Schnees bis 8500 Fuß, in dem schneeärmeren Kaukasus nur bis 10,500 Fuß herab, obschon die mittlere Jahres- und selbst die mittlere Sommerwärme am Fuße der Pyrenäen einen höheren Temperaturgrad erreicht, als am Fuße des Kaukasus.

Gletscher. Während die Schneegrenze in dem nehmlichen Gebirge und an der nehmlichen Seite desselben in der Regel ziemlich gleichförmig verläuft, ziehen sich von derselben an verschiedenen Stellen Eisfelder, die sogenannten Gletscher, in den Thälern bis zu beträchtlichen Tiefen, bis mitten zwischen grünende Weiden herab. Die Gletscher entstehen dadurch, daß der am Tage durch die Sonnenstrahlen geschmolzene Schnee während der Nacht wieder zu Eis friert und die gebildeten Eismassen an den Abhängen der Berge, wie über eine schiefe Ebene herabgleiten. Sie sind daher in einer beständig fortschreitenden, abwärts gehenden Bewegung begriffen, wobei das am unteren Ende geschmolzene Eis fortwährend durch am oberen Ende sich bildende, neue Eismassen ersetzt wird.

Wie wir schon oben angeführt haben, wird selbst zu Quito unter dem Aequator, in der Höhe von 15,000 Fuß, die Grenze des ewigen Schnees erreicht. Es bieten daher in den heißen Erdstrichen bis zu beträchtlichen Höhen sich erhebende Gebirge dem Wanderer binnen wenigen Stunden eine eben so große Abwechselung der klimatischen Verhältnisse und der durch diese bedingten Vegetation dar, wie sie von dem Reisenden in der Ebene erst in der Entfernung von vielen hundert Meilen angetroffen werden.

So findet man z. B. in den ebenen Gegenden Italiens den Anbau der Orange und des Oelbaumes und in den Waldungen die immer grünen Bäume, welche auch im Winter ihre Blätter nicht verlieren; in der Höhe von 1200 bis 3000 Fuß hat die Vegetation einen ähnlichen Charakter wie im südlichen Deutschland; es gedeihen hier die Kastanien, der Wein und das Getreide; in einer größeren Höhe als 3000 Fuß zeigt die Vegetation mehr den Charakter des nördlichen Deutschlands; bis zu 4000 Fuß reicht noch der Getreidebau; in noch größerer Höhe wird nur Viehzucht getrieben. Bis zu 6000 Fuß steigen die Laub-, ins Besondere die Buchenwaldungen empor; über dieser Höhe hört jedoch der Baumwuchs gänzlich auf, und es werden nur noch Alpenpflanzen angetroffen, bis endlich mit 9000 Fuß Höhe auf dem Gipfel des Aetna die Grenze des ewigen Schnees erreicht wird.

Digitized by Google

Zunahme der Bodenwärme mit der Tiefe.

Wir haben bisher unsere Leser nur mit der Erscheinung, daß in allen Erdstrichen mit der Höhe die Lufttemperatur abnimmt, unterhalten. Wir sind denselben noch schuldig, von dem Grunde dieser Erscheinung Rechenschaft zu geben. Es folgt derselbe aber sehr einfach aus der umgekehrten Erscheinung, welche wir im Begriffe sind, unsern Lesern vorzuführen, daß nehmlich überall auf der Erde die Temperatur steigt, je tiefer man unter die Oberfläche eindringt. Dann ist es ja wohl sehr natürlich, daß mit der Entfernung von der Wärmequelle sich die Temperatur vermindert.

Beobachtungen des Gesteines in Bergwerksschachten und des Wassers in Bohrlöchern haben ergeben, daß im Mittel auf etwa 90 Fuß die Temperatur um 1 Grad steigt. In dem Bohrloche zu Neusalzwerk, ohnweit Preußisch-Minden, ist man zu der Tiefe von ohngefähr 2150 Fuß unter den Boden und zur Tiefe von etwa 1900 Fuß unter den Meeresspiegel gekommen. Das aus dieser Tiefe hervorquellende Wasser hat eine Temperatur von 33 Grad, während die mittlere Lufttemperatur zu Neusalzwerk nur etwa 9 Grad betragen dürfte.

Selbst im nördlichen Sibirien, wo auch in dem kurzen, aber heißen Sommer der Boden niemals vollständig aufthaut, nimmt die Temperatur mit der Tiefe zu. In einem bei Jakuzk abgeteuften Schachte zeigten in den gefrorenen Boden eingesenkte Thermometer, nahe an der Oberfläche, 18 Grad, in der Tiefe von 330 Fuß aber nur 3 Grad unter dem Gispunkte.

Nehmen wir an, daß im Mittel, welches sich aus der Mehrzahl der Beobachtungen ergiebt, die Temperatur mit der Tiefe auf je 90 Fuß um je einen Grad steigt, und daß auch für größere Tiefen die Zunahme der Temperatur nach dem nehmlichen Verhältnisse erfolgt, so würden wir, wenn die Temperatur des Bodens in der Nähe der Oberfläche 10 Grad beträgt, schon in der Tiefe von etwas mehr, als 8000 Fuß die Temperatur des siedenden Wassers, in der Tiefe von etwa 5 Meilen aber eine Hitze antreffen, in welcher auch Felsen, wie der Granit, sich in geschmolzenem Zustande befinden müßten. Daß wirklich das Innere der Erde sich in einem geschmolzenen Zustande befindet, bekunden die aus den inneren Tiefen emporsteigenden und durch die Krater der Vulkane sich ergießenden feurig flüssigen Massen.

Ebenso geben uns die zahlreichen warmen Quellen Zeugniß von der inneren Erdwärme. Ohne dieselbe würden die kalten Erdstriche, in denen der Boden selbst im Sommer nicht vollständig aufthaut, des Quellwassers gänzlich entbehren. Schon der einfache Umstand, daß auch in jenen Gegenden noch Quellen entspringen, legt entschiedenes Zeugniß für die innere Erdwärme ab. Noch vernehmlicher aber reden hiervon die über die ganze Erde verbreiteten sogenannten heißen Quellen. Selbst auf Island steigt die Temperatur in dem Wasser, welches der Geyser hervorsprudelt, bis zur Siedhitze. Von anderen warmen Quellen führen wir an

die zu	Burtscheid	mit einer Temperatur von	78 Grad,
„ „	Karlsbad	„ „ „ „	74 „
„ „	Wiesbaden	„ „ „ „	70 „
„ „	Baden	„ „ „ „	67 „
„ „	Aachen	„ „ „ „	57 „
„ „	Ems	„ „ „ „	50 „
„ „	Teplitz	„ „ „ „	48 „
„ „	Warmbrunn	„ „ „ „	37 „

Digitized by Google

Nehmen wir, wie oben angeführt, an, daß mit je 90 Fuß Tiefe die Temperatur um einen Grad sich erhöht, so wird sich hiernach und aus der Temperatur, welche der Erdboden in der Nähe der Oberfläche zeigt, leicht berechnen lassen, aus welcher Tiefe die Quelle ihren Ursprung nimmt.

Temperatur der Quellen und des Erdbodens.

Quellen, welche aus einigermaßen beträchtlicher Tiefe entspringen, zeigen das ganze Jahr hindurch eine ziemlich gleiche Temperatur. Die größte Wärme derselben fällt gewöhnlich in den September, die geringste in den März. Der Unterschied übersteigt jedoch gewöhnlich nicht 1 bis 2 Grad. Ebenso zeigt auch der Erdboden weit geringere Schwankungen der Temperatur, als die Luft. In der Tiefe von etwa 50 bis 60 Fuß hören in unseren Breiten die jährlichen Schwankungen der Temperatur fast gänzlich auf. In niederen Breiten tritt diese Unveränderlichkeit der Temperatur des Erdbodens in noch geringeren Tiefen ein.

Wegen der mit der Tiefe zunehmenden Bodenwärme übertrifft in unserer Breite, bei den das ganze Jahr hindurch reichlich fließenden und eine unveränderliche Temperatur zeigenden Quellen, die Temperatur derselben etwas die mittlere Lufttemperatur; in höheren Breiten steigt dieser Unterschied selbst bis auf mehrere Grade; über die heiße Zone fehlen noch entscheidende Beobachtungen.

Wir haben schon oben erwähnt, daß die überall mit der Tiefe wachsende Erdwärme, die unter den verschiedensten Breitengraden hervorsprudelnden heißen Quellen und ganz besonders die feurigflüssigen Laven, welche den Kratern der Vulkane entströmen, darauf hinweisen, daß der innerste Kern der Erde sich in einem geschmolzenen Zustande befinde, und daß nur eine starre Kruste in der Dicke von einigen Meilen uns von dem flüssigen, glühend heißen Innern scheidet. Uebereinstimmend hiermit sprechen geognostische Thatsachen, welche unsern Lesern ein späterer Abschnitt vorführen wird, dafür, daß in einer sehr weit von der Gegenwart entfernt liegenden Periode die ganze Masse der Erde geschmolzen gewesen ist, daß aber in Folge allmählig fortschreitender Abkühlung die äußere Kruste mit der Zeit erstarrt ist und mehr und mehr an Dicke zugenommen hat. Wir werden also die Erde als eine im Innern noch glühende und geschmolzene, an der Oberfläche aber, bis zur gegenwärtigen Temperatur erkaltete, Kugel anzusehen haben.

Ist diese Ansicht richtig, so liegt die Frage sehr nahe, ob auch noch in der gegenwärtigen Periode die Erde in fortschreitender Abkühlung begriffen ist, ob in der historischen Zeit angestellte Beobachtungen darauf hinweisen, daß die Temperatur an der Oberfläche fortfährt sich zu vermindern, oder ob gegenwärtig bereits die Oberfläche einen so niedrigen Temperaturgrad erreicht hat, daß die Wärmeverluste, welche dieselbe durch Ausstrahlung in den Weltraum erleidet, durch die von anderen Himmelskörpern, ins Besondere der Sonne, der Erde zugesendete Wärmestrahlen ausgeglichen werden.

Die bis jetzt direct an dem Thermometer angestellten Beobachtungen lassen eine Abnahme der Temperatur nicht erkennen; freilich umfassen diese Beobachtungen selbst für Florenz nur 200 Jahre, für andere Beobachtungsorte noch kürzere Zeiträume. Allein auch anderweitige, aus den ältesten historischen Zeiten stammende Ueberlieferungen, die Verhältnisse der Vegetation und des Landbaues betreffend, führen zu dem nehmlichen Resultate.

So gedeiht noch gegenwärtig, wie zu Moses Zeiten, in Palästina die Weinrebe, spärlicher die Dattelpalme; die Weinlese fällt noch jetzt, wie damals, Ende September oder Anfang October, und die Getreideernte dauert

Digitized by Google

von der Mitte April bis Ende Mai. Alle Umstände sprechen dafür, daß seit 3300 Jahren die Temperaturverhältnisse von Palästina sich nicht wesentlich geändert haben. Ebenso fällt in Italien noch gegenwärtig, wie zu den Zeiten der Römer, der Anfang der Ernte in die Mitte des Mai's und die Weinlese in den September. — Auch zu Herodot's Zeiten bedeckte sich in strengen Wintern, wie noch gegenwärtig, der Bosporus zuweilen mit Eis.

Alle diese und andere historische Zeugnisse stimmen darin überein, daß seit Jahrtausenden die Temperatur verschiedener Gegenden der Erdoberfläche keine merkliche Veränderung erfahren haben.

Isothermen.

Außer der geographischen Breite eines Ortes und der Höhe desselben über der Meeresfläche wird die mittlere Temperatur noch durch verschiedene andere Umstände bedingt. So besitzen im Allgemeinen bei gleichem Abstande vom Aequator und gleicher Erhebung über die Meeresfläche, Orte in Europa eine höhere mittlere Jahreswärme, als in Asien und Nordamerika.

Diese Bevorzugung Europa's vor den beiden anderen Erdtheilen verdankt dasselbe vorzüglich der Vertheilung des Wassers und des festen Landes. Während bei Amerika und Asien der größte Theil der heißen Zone vom Meere eingenommen wird, fällt Europa gegenüber der Continent von Afrika in die heiße Zone. Wie schon mehr bemerkt, erwärmt sich aber das Wasser viel weniger stark durch die Sonnenstrahlen, als das feste Land; hierzu kommt noch, daß in Folge der beständig im Meere stattfindenden Strömungen das erwärmte Wasser nach anderen Gegenden abfließt und durch kaltes ersetzt wird.

Dagegen wird die über dem heißen Boden Afrika's erwärmte Luft durch die in südlicher und südwestlicher Richtung wehenden Winde, welche wir früher als den Aequatorealstrom kennen gelernt haben, nach Europa hingebracht, und so diesem ein beträchtlicher Theil der Wärme jenes Erdtheiles zugeführt.

In Europa selbst zeigen die westlicher gelegenen Gegenden im Allgemeinen eine höhere Temperatur, als die östlicher gelegenen. Diese Erhöhung der Temperatur wird für die ersteren vorzüglich durch den Golfstrom bewirkt, welcher den westlichen Küsten Europa's die warmen Gewässer der heißen Zone zuführt.

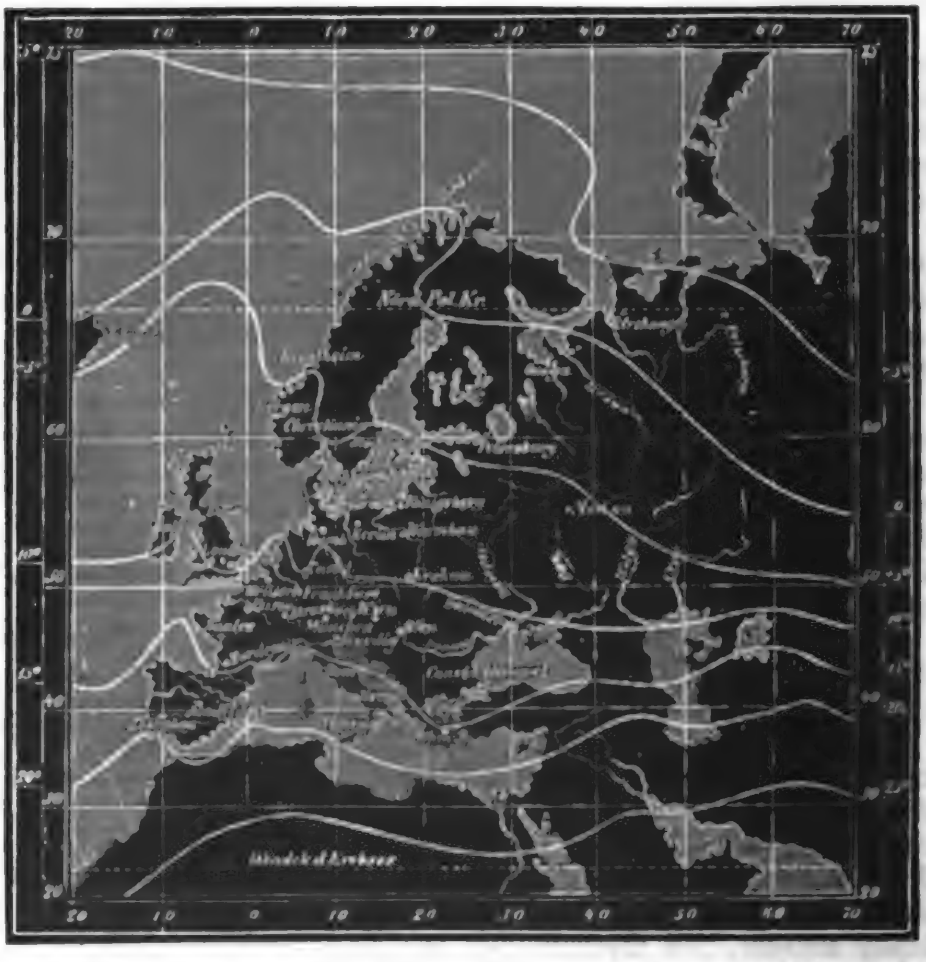
Indem nehmlich in dieser Zone die Passate das ganze Jahr hindurch in östlicher Richtung wehen, bewirken dieselben in den großen Oceanen auch eine beständige Strömung des Meerwassers in dieser Richtung. Durch das feste Land von Amerika aufgehalten, wendet sich dieser Strom in dem mexikanischen Meerbusen gegen Nordost, folgt dann zunächst den östlichen Küsten Nordamerika's und theilt sich weiterhin in zwei Arme, von denen der eine gegen die Azoren und die Westküste Afrika's, der andere aber gegen Europa hin gerichtet ist. Durch diesen letztern Strom werden nicht selten, besonders bei westlichen und südwestlichen Winden, aus den tropischen Gegenden Amerika's stammende Pflanzen und Früchte den östlichen Küsten Irlands und Norwegens zugeführt.

Die der heißen Zone entsprungenen Gewässer dieses Stromes theilen zugleich den über ihnen befindlichen Luftschichten ihre Wärme mit, welche sich bei westlichem Winde über Europa verbreitet und besonders die Temperatur der westlich gelegenen Länder Europa's erhöht. Dem Einflusse des Golfstromes ist es auch zuzuschreiben, daß sich im Norden Europa's beständig ein eisfreies Meer befindet und auch mitten im Winter das Polareis die Küsten von Norwegen und Lappland nicht erreicht.

Digitized by Google

Die Wärmeverhältniſſe der Erdoberfläche laſſen ſich in einer ſehr anſchaulichen Weiſe, wie dieß zuerſt durch Alexander von Humboldt geſchehen iſt, überſichtlich darſtellen, wenn man diejenigen Orte durch Linien verbindet, welche eine gleiche mittlere Lufttemperatur beſitzen. Man giebt dieſen Linien den Namen Iſothermen. Fig. 148 ſtellt den ohngefähren Lauf dieſer Linien für Europa dar.

(Fig.) 148.



Die Linie der größten Wärme, der ſogenannte thermiſche Aequator, fällt nicht mit dem geographiſchen Aequator zuſammen, ſondern, wie ſchon früher bemerkt, nördlich von demſelben, indem die nördliche Halbkugel im Ganzen eine höhere Temperatur, als die ſüdliche beſitzt, was hauptſächlich eine Folge der ungleichen Vertheilung des feſten Landes und des Waſſers für beide Halbkugeln ſein dürfte. Ebenſo nehmen auch die übrigen Iſothermen keinen mit den Parallelkreiſen übereinſtimmenden Verlauf; ſie bilden an den Weſtküſten Europa's erhabene Gipfel und ſenken ſich dann ſowohl nach Aſien als nach Amerika hin.

Ueber die Zeichnung der Iſothermen müſſen wir noch bemerken, daß bei höher gelegenen Gegenden nicht die aus den Beobachtungen unmittelbar hervorgehende mittlere Lufttemperatur zu Grunde gelegt iſt, ſondern diejenige, welche dieſen Orten bei gleicher Höhe mit dem Meeresſpiegel zukommen

würde, wie sich dieselbe aus den unmittelbaren Beobachtungen, mit Berücksichtigung der Abnahme der Lufttemperatur mit der Höhe, ergiebt.

Wenn zwei Orte eine gleiche mittlere Jahreswärme besitzen, so können doch im Uebrigen ihre klimatischen Verhältnisse noch sehr von einander verschieden sein. Besonders weichen in dieser Hinsicht Inseln von großen Continenten, tief im Innern dieser letzteren und an der Küste gelegene Gegenden von einander ab. Man unterscheidet hiernach Insel-, Küsten- und Continentalklima.

Indem nehmlich die Oberfläche des Meeres die Sonnenstrahlen in einem viel schwächeren Verhältnisse absorbirt, als das feste Land, und ebenso viel weniger reichlich Wärme ausstrahlt, ist die Temperatur des Meerwassers weit geringeren Schwankungen, als die des festen Landes unterworfen, und indem das Meer im Sommer eine geringere, im Winter eine höhere Temperatur annimmt, als das feste Land, wird durch die Nähe desselben einerseits die Hitze des Sommers, andererseits die Kälte des Winters gemildert. Dem Meere nahe gelegene Gegenden charakterisiren sich daher durch kühle Sommer und verhältnißmäßig warme Winter, während dagegen im Innern des festen Landes sowohl die Hitze im Sommer, als auch die Kälte im Winter hohe Grade erreicht.

Die Bretagne, die Küsten der Normandie, England und Irland zeichnen sich durch äußerst milde Winter, aber auch durch eine geringe Wärme des Sommers aus. Selbst im nordöstlichen Irland friert bei gleicher Breite mit Königsberg in Preußen nur selten im Winter Eis und gedeiht die Myrthe so freudig wie in Portugal. Andererseits vermag die geringe Wärme des Sommers in England die Trauben, die Mandeln und Wallnüsse nicht zur Reife zu bringen.

Astrachan im südlichen Rußland hat mit dem Nordcap in Lappland eine gleiche Winterkälte, aber eine hohe Sommerwärme, so daß daselbst die schönsten Obstsorten und die herrlichsten Trauben gezogen werden.

In Jakuzk in Sibirien, wo die mittlere Jahrestemperatur 11 Grad unter dem Eispunkte liegt und das Thermometer im Winter nicht selten bis 50 und mehr Grad unter den Eispunkt herabgeht, steigt dasselbe in dem kurzen, aber verhältnißmäßig heißen Sommer, welcher von der Mitte des Mai bis zur Mitte des September währt, öfters bis zu 25 Grad, und es können hier, obschon der Boden im Sommer nur etwa bis zur Tiefe von 3 Fuß aufthaut, noch Sommerweizen und Roggen gebaut werden, während dieß in Island, welches eine weit geringere Winterkälte und überhaupt eine beträchtlich höhere mittlere Jahrestemperatur hat, nicht mehr möglich ist, weil die Sommerwärme nicht ausreicht, das Getreide zur Reife zu bringen.

Die niedrigste auf der Erde überhaupt beobachtete Temperatur dürfte 60 Grad unter dem Eispunkte, die höchste, bis zu welcher man das Thermometer in der heißen Zone im Schatten in der Entfernung einiger Fuße vom Erdboden hat steigen sehen, 45 bis 46 Grad betragen. Als die mittlere Temperatur am Aequator kann man $27^1/_2$ Grad annehmen. In Deutschland dürfte die höchste und niedrigste beobachtete Temperatur 38 über und 32 Grad unter dem Eispunkte betragen.

Die folgende Tabelle giebt für einige Orte der Erdoberfläche die mittlere Wärme des Jahres, des Sommers (d. h. der Monate Juni, Juli und August) und des Winters (d. h. der Monate Dezember, Januar und Februar) an.

Orte.	Breite.	Höhe.	Mittlere Temperatur des Jahres.	des Sommers.	des Winters.
Quito	0° 14′ S	8970	15,6°	15,6°	15,4°
Madras	13 5 —	0	27,7	30,1	25,0
Massena (Abyssinien)	15 36 N	—	31,0	—	—
Vera-Cruz	19 12 —	0	20,0	27,5	21,5
Mexiko	19 26 —	6990	16,6	19,1	13,0
Calcutta	22 35 —	—	26,8	21,6	29,1
Rio-Janeiro	22 55 S	0	23,1	26,1	20,3
Canton	23 8 N	—	21,1	27,8	12,7
Capstadt	33 55 S	—	16,0	19,4	12,4
Algier	36 47 N	0	17,8	23,6	12,4
Palermo	38 7 —	168	17,2	23,5	11,2
St. Louis (Miss.)	38 37 —	420	13,1	24,6	1,1
Lissabon	38 42 —	222	16,4	21,7	11,3
Baltimore	39 17 —	—	12,1	23,3	0,8
Peking	39 54 —	300	12,6	25,2	—1,6
Madrid	40 25 —	1940	14,3	23,5	6,9
Constantinopel	41 0 —	141	13,7	22,1	5,7
Rom	41 54 —	160	15,4	22,9	8,1
Boston	42 21 —	—	8,8	20,1	—2,2
Marseille	43 18 —	144	14,1	21,1	7,4
Astrachan	46 21 —	—	8,7	21,2	—3,6
Odessa	46 29 —	0	9,1	21,1	—2,5
Quebek	46 49 —	—	5,5	20,2	—9,9
Ofen	47 29 —	810	9,7	19,4	—2,4
München	48 9 —	1620	8,9	17,4	—0,4
Wien	48 13 —	480	10,2	20,2	0,1
Tübingen	48 31 —	1020	8,6	17,1	—0,2
Straßburg	48 35 —	450	9,8	18,1	1,2
Paris	48 50 —	80	10,8	18,1	3,3
Regensburg	49 1 —	1032	8,6	18,0	—1,4
Mannheim	49 29 —	282	10,3	19,5	1,5
Würzburg	49 48 —	528	10,1	18,7	1,6
Prag	50 5 —	576	9,6	19,4	—0,5
Frankfurt am Main	50 7 —	360	9,6	18,4	0,4
Brüssel	50 51 —	180	10,2	17,6	3,0
Gotha	50 57 —	948	7,4	15,9	—1,2
Dresden	51 3 —	372	8,5	17,2	—0,4
Breslau	51 6 —	456	7,9	17,2	—1,4
Düsseldorf	51 14 —	85	11,0	18,7	2,8
Elberfeld	51 16 —	400	9,3	16,3	2,2
London	51 31 —	162	9,1	15,5	3,1
Halle	51 31 —	342	9,0	17,4	0,1
Göttingen	51 32 —	408	9,1	17,6	0,6
Münster	51 58 —	193	9,5	16,8	2,2
Warschau	52 13 —	375	7,3	18,1	—3,8
Irkuzk	52 16 —	1260	—0,7	16,1	—18,5
Berlin	52 31 —	120	9,0	18,3	—0,5
Dublin	53 23 —	—	9,5	15,3	4,6
Hamburg	53 33 —	36	8,6	17,0	0,3
Danzig	54 21 —	0	7,6	16,4	—1,2
Königsberg	54 43 —	0	6,2	15,9	—3,3
Kopenhagen	55 41 —	82	7,6	16,5	—0,5
Lund	55 42 —	—	7,2	16,7	—1,4
Moskau	55 46 —	522	4,4	18,2	—9,1
Kasan	55 47 —	270	2,1	17,1	—14,5
Edinburg	55 57 —	270	8,1	13,9	3,5
Upsala	59 52 —	—	5,2	15,1	—3,9
Petersburg	59 56 —	106	3,4	15,8	—8,1
Bergen	60 24 —	54	8,2	—	—
Jakuzk	62 1 —	270	—11,0	14,7	—38,2
Insel Melville	74 47 —	0	—18,7	2,8	—33,5

Digitized by Google

Der Magnetismus.

Wesen des Magnetismus.

Ehe wir in dieses neue Gebiet eintreten, überschauen wir noch einmal die bis jetzt durchlaufene Bahn. In den drei ersten Abschnitten, in denen wir unsern Lesern die mechanischen Erscheinungen der festen, flüssigen und luftförmigen Körper vorgeführt haben, war es recht eigentlich die Bewegung, welche den Gegenstand der Betrachtung bildete. In den Abschnitten, welche die zweite Abtheilung der Physik ausmachen und vom Schalle, vom Lichte und von der Wärme handeln, konnten wir in Hinsicht des Schalles auf dem unmittelbaren Wege der Beobachtung die Art seiner Entstehung durch die schwingende Bewegung der tönenden Körper nachweisen. Vermochten wir auch nicht das Nehmliche für das Licht auf dem Wege der Erfahrung darzuthun, so ließ doch die Analogie zwischen den Erscheinungen des Schalles und Lichtes eine ähnliche Art der Erzeugung als höchst wahrscheinlich erscheinen, und in der That liefert die Vibrationshypothese die Erklärung aller bekannten optischen Erscheinungen in einer so einfachen und vollständigen Weise, daß wohl gegenwärtig kaum noch irgend ein namhafter Physiker an der Richtigkeit derselben zweifelt. Zwischen den Erscheinungen des Lichtes und der Wärme ist aber wieder eine so innige Verwandtschaft, daß sich die Vermuthung einer verwandten Entstehung sofort und von selbst aufdrängt, und wenn es auch bis jetzt noch nicht gelungen ist, die Erklärung aller Erscheinungen aus dem Principe der Vibrationsbewegungen zu gewinnen, so lassen doch die in neuester Zeit in dieser Richtung gemachten Fortschritte die Erreichung dieses Zieles für eine nicht zu ferne Zukunft erwarten.

Ganz anders liegt es dagegen mit der letzten Abtheilung der Physik, in deren Bereich wir jetzt eintreten. Für die Erscheinungen des Magnetismus und der Electricität, welche, wie wir weiterhin sehen werden, aufs innigste unter sich verbunden sind, fehlt eine dieselben erklärende Hypothese zur Zeit noch gänzlich, und wenn auch der Zusammenhang derselben mit den Erscheinungen des Lichtes und der Wärme zu der Vermuthung eines ähnlichen Ursprunges führen könnte, so finden sich doch wieder so eigenthümliche Gegensätze, welche auf eine besondere und abweichende Ursache hinzuweisen scheinen.

Wenn in früherer Zeit die Annahme ziemlich verbreitet war, daß Licht, Wärme, Magnetismus und Electricität eigenthümliche Materien seien, und man daher in älteren physikalischen Schriften, oder auch in neueren, deren Verfasser am Alten festhalten, Ausdrücken wie: Lichtstoff, Wärmestoff, electrische und magnetische Materie, begegnet, so kann gegenwärtig, nachdem die Hypothese eines Licht- und Wärmestoffes als gänzlich abgethan erscheint, auch die Annahme einer magnetischen und einer electrischen Materie, selbst wenn wir für diese, nicht wie für jene eine entsprechendere Hypothese an die Stelle zu setzen vermögen, dennoch nicht länger aufrecht erhalten werden.

Erwägen wir, daß noch nicht viel über ein Jahrhundert verflossen ist, seit die Physiker angefangen haben, sich eifrig mit den Erscheinungen des Magnetismus und der Electricität zu beschäftigen, daß ihre Forschungen zunächst den mannigfaltigsten Reichthum bis dahin gänzlich unbekannter Erscheinungen aufgedeckt haben, daß die Menge derselben sich durch neue Entdeckungen, welche sich in raschester Folge aneinander reihen und gar nicht selten die schon gekannten Thatsachen in einem ganz neuen und unerwarteten Lichte erscheinen lassen, noch fortwährend vergrößert; erwägen wir ferner, daß die Aufgabe einer gesunden Naturforschung vor Allem auf die

Digitized by Google

Gewinnung und Sichtung des Materials, eine, wenn nicht vollständige, doch einigermaßen umfassende Kenntniß der Erscheinungen und Feststellung der Gesetze gerichtet sein muß, ehe der Versuch einer diese sämmtlich auf ein gemeinschaftliches Prinzip zurückführenden Hypothese mit einiger Wahrscheinlichkeit des Gelingens unternommen werden kann: so mag es uns nicht befremden, wenn die Lösung dieser Aufgabe einer späteren und nicht der gegenwärtigen Zeit, deren Kräfte noch durch die Förderung des Materials im vollsten Anspruch genommen werden, vorbehalten sein dürfte.

Demgemäß werden wir, von dem Folgenden rein theoretische Erörterungen fern haltend, uns darauf beschränken, unsern Lesern die wichtigsten Erscheinungen nach dem gegenwärtigen Standpunkte der Wissenschaft vorzuführen. Wir handeln nun zunächst vom Magnetismus und dann weiter von der Electricität.

Magnetische Erscheinungen.

Schon den alten Griechen war es bekannt, daß ein gewisses schwärzliches Eisenerz die Eigenschaft besitzt, metallisches Eisen anzuziehen. Man erzählt, daß dieses Eisen besonders bei der Stadt Magnesia in Lydien gefunden worden sei und davon den Namen Magnet erhalten habe. Es ist jedoch das Vorkommen dieses Erzes nicht auf jenen Fundort beschränkt, vielmehr ist dasselbe sehr verbreitet; es findet sich in besonders großer Menge in Schweden und Norwegen. Der Berg Taberg in Lappland und der Pumachanche in Chili sollen fast ganz aus Magneteisenstein bestehen.

Außer diesem von Natur magnetischen Eisenerze, welches aus Eisen und Sauerstoff (Verbindung von Eisenoxyd mit Eisenoxydul) besteht, können auch metallisches Eisen, besonders Stahl, magnetisch werden. Vorzüglich aus Letzterem lassen sich durch Methoden, welche wir weiterhin kennen lernen werden, künstliche Magnete darstellen, welche die natürlichen an Tragkraft bei Weitem übertreffen.

Außer der eben angeführten Eigenschaft, Eisen anzuziehen, kommt dem Magneten noch eine zweite, nicht minder merkwürdige Eigenschaft zu, nehmlich, wenn er sich frei bewegen kann, eine bestimmte Lage anzunehmen. Diese Eigenschaft haben die Chinesen schon länger als tausend Jahr vor Christi Geburt gekannt; in Europa aber ist dieselbe erst im 12ten Jahrhundert bekannt und die Compaßnadel bei Beschiffung der Meere benutzt worden.

Die Nadel des Compaß besteht aus einem magnetisirten Stahlstäbchen, welches in der Mitte durchbohrt und mit einem Achathütchen versehen ist, vermittelst dessen dasselbe auf einer feinen Stahlspitze ruht. Diese Einrichtung soll dazu dienen, die Reibung möglichst zu vermindern.

Man bemerkt an jedem Magnete zwei (seltener 4 oder 6) Stellen, an denen sich die anziehende Kraft am stärksten äußert, von denen gleichsam die Anziehung ausgeht; man nennt diese Stellen die Pole und die Verbindungslinie derselben die Axe des Magneten. Da in unsern Gegenden sich bei einem frei beweglichen Magneten der eine Pol gegen Norden, der andere gegen Süden wendet, so nennt man jenen den Nordpol, diesen den Südpol. Mit der Entfernung von den Polen nimmt die anziehende Kraft eines Magneten rasch ab und gegen die Mitte giebt es eine Stelle, an welcher die magnetische Anziehung gänzlich verschwindet, und die daher der Indifferenzpunkt genannt wird.

Man kann diese Verhältnisse in einer anschaulichen Weise darstellen, wenn man einen Magneten in Eisenfeilicht legt. Fig. 149 zeigt einen Magnetstab mit dem ihn bekleidenden Eisenfeilicht. Man bemerkt dann aus

Digitized by Google

(Fig. 149.)

der Richtung der Linien, nach denen ſich daſſelbe gruppirt, daß die Pole nicht ganz ans Ende, ſondern in einiger Entfernung vom Ende, nach Innen hin fallen.

Geſetz der magneſchen Anziehung und Abſtoßung.

Wenn man zwei Magneten einander nähert, ſo findet man, daß zwar der Nordpol des einen und der Südpol des andern ſich gegenſeitig anziehen, daß dagegen die beiderſeitigen Nordpole oder die beiderſeitigen Südpole ſich abſtoßen. Man ſpricht dieſes Geſetz gewöhnlich kurz dahin aus:

Die gleichnamigen Pole ſtoßen ſich ab, die ungleichnamigen Pole ziehen ſich an.

Dieſes merkwürdige Geſetz giebt uns zugleich das geeignete Mittel an die Hand, zu unterſuchen, ob in einem Stück Eiſen bereits Magnetismus vorhanden, und von welcher Beſchaffenheit derſelbe iſt. Nähern wir z. B. einen Eiſen- oder Stahlſtab mit dem einen und dem anderen Ende, wie dieſes Fig. 150 zeigt, einer Magnetnadel und finden, daß es in beiden Fällen auf den einen wie auf den anderen Pol anziehend wirkt, ſo dürfen wir annehmen, daß in dem Eiſen gar kein (oder unmerklich ſchwacher) Magnetismus vorhanden iſt. Finden wir dagegen, daß das eine Ende den Nordpol, das andere den Südpol der Magnetnadel ſchon in einiger Entfernung abſtößt, ſo beſitzt erſteres ſelbſt Nord-, letzteres Südmagnetismus. (Die Anziehung liefert ein weniger ſicheres Reſultat, weil ein ſehr kräftiger Magnet, wie wir weiterhin ſehen werden, die Pole eines ſchwächeren Magneten, z. B. einer feinen Magnetnadel, umzukehren vermag.)

(Fig. 150.)

Die bis jetzt beſprochenen Anziehungen und Abſtoßungen auf unmagnetiſches Eiſen und auf einen andern Magneten finden nicht blos in der unmittelbarſten Nähe, ſondern auch in der Entfernung ſtatt. Sie nehmen aber mit der Entfernung ſehr raſch ab. Die magnetiſche Kraft folgt nehmlich demſelben Geſetze, wie die Schwere; ſie vermindert ſich im quadratiſchen Verhältniſſe der Entfernung, ſie ſinkt alſo in der doppelten, dreifachen, vierfachen Entfernung auf den vierten, neunten, ſechzehnten Theil. Sie wird daher in größerer Entfernung auch bei den kräftigſten Magneten unmerklich.

Ob zwiſchen dem Magneten und dem von demſelben angezogenen Eiſen oder zwiſchen den Polen zweier Magneten ſich ein leerer Raum oder Luft, Glas, Holz, Waſſer oder andere Körper befinden, führt keinen erheblichen Unterſchied herbei. Die Einwirkung eines Magneten auf ein in ſeiner Nähe befindliches Eiſen oder auf einen andern Magneten wird dagegen geſtört, wenn man zwiſchen beide eine eiſerne Platte einſchiebt. Den Grund dieſer Verſchiedenheit werden wir ſogleich kennen lernen.

Digitized by Google

Das Princip der Vertheilung oder Influenz.

Es ist eine leicht zu beobachtende und bekannte Erscheinung, daß, wenn man an den Pol eines Magneten eine Nähnadel hängt, diese eine zweite und die zweite auch wohl eine dritte u. s. f. anzieht.

Untersucht man die Nähnadel, welche an dem Pole des Magneten hing, nach dem oben angegebenen Verfahren, indem man sie einer empfindlichen Magnetnadel nähert, so findet man, daß die Nähnadel selbst magnetisch geworden ist, und zwar hat das Ende, mit welchem sie an dem Magnetpole hing, den ungleichnamigen, das andere Ende den gleichnamigen Magnetismus erhalten. Hing sie z. B. an einem Nordpole, so hat das genäherte Ende Südmagnetismus, das entgegengesetzte Ende Nordmagnetismus bekommen.

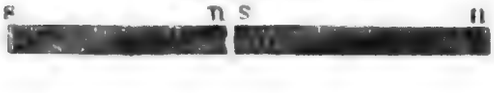
Ueberhaupt wird jedes Stück Eisen, wenn es in die Nähe eines Magneten gebracht wird, selbst zum Magneten und erhält an dem genäherten Ende den ungleichnamigen, an dem abgekehrten Ende den gleichnamigen Magnetismus, so daß also alle magnetische Anziehung immer zwischen den ungleichnamigen Polen zweier Magneten, niemals zwischen einem Magnetpole und unmagnetischem Eisen stattfindet, indem dieses, so wie es in die Nähe des Magnetpoles kommt, selbst sich in einen Magneten verwandelt.

Fragen wir nach der Entstehung dieses Magnetismus in dem vorher unmagnetischen Eisen, so werden wir nicht annehmen können, daß dasselbe seinen Magnetismus durch Mittheilung von dem Magnetpole erhalten hat. Denn erstens war das Eisen nur mit dem einen Pole, z. B. dem Nordpole in Berührung, hat aber beide Magnetismen, Nord- und Südmagnetismus, erhalten; zweitens verliert der Magnet selbst nicht wesentlich durch diesen Versuch an Kraft, auch wenn man an denselben wiederholt größere Stücke Eisen hängt und so dieselben durch die Berührung mit dem Magnetpole selbst zu Magneten macht. — Man wird daher einfacher annehmen, daß in dem Eisen schon vorher beide Magnetismen, jedoch in allen Punkten in gleicher Stärke vorhanden waren, so daß, was der eine anzog, der andere abstieß, und sich dieselben daher gegenseitig das Gleichgewicht hielten, daß aber bei der Annäherung an einen Magnetpol, z. B. an einen Nordpol, das bisher bestandene Gleichgewicht der beiden in dem unmagnetischen Eisen vorhandenen Magnetismen in der Art aufgehoben, in der genäherten Hälfte der angezogene wurde, daß ungleichnamige, in der abgekehrten Hälfte aber der abgestoßene gleichnamige Magnetismus das Uebergewicht erhielt.

Man pflegt dem Principe, auf welchem die Magnetisirung in den angeführten Versuchen beruht, den Namen der magnetischen Vertheilung oder Influenz zu geben.

Zur Bestätigung der so eben entwickelten Ansicht kann auch der folgende Versuch dienen: Wenn man einen Magnetstab (z. B. einen magnetisirten Stickstock) in der Mitte durchbricht, so zeigt nicht etwa die eine Hälfte blos Nord-, die andere blos Südmagnetismus, sondern man bekommt zwei vollständige Magnete, von denen jeder sowohl einen Nordpol, als auch einen Südpol besitzt. Legt man aber die beiden Hälften mit den vor der Trennung sich berührenden Enden wieder zusammen, so erhält man wieder einen Magneten mit einem Nordpole an dem einen und einem Südpole an dem anderen Ende und einem Indifferenzpunkte in der Mitte, in dem die hier zusammenstoßenden ungleichnamigen Pole n und s, Fig. 151, sich in ihrer Wirkung nach Außen gegenseitig aufheben.

(Fig. 151.)



Digitized by Google

In Hinsicht der Erregung des Magnetismus zeigen weiches und hartes Eisen ein verschiedenes Verhalten; im weichen Eisen wird der Magnetismus sehr leicht hervorgerufen, aber er verschwindet auch sehr bald wieder ganz oder größtentheils; im harten Eisen, besonders im gehärteten Stahle wird der Magnetismus schwieriger erregt, aber er ist auch von längerer Dauer.

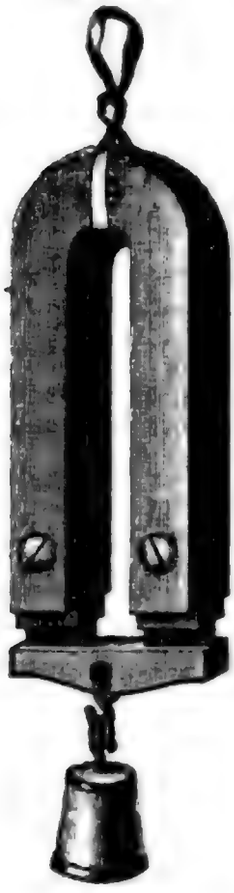
Magnetisirung des Stahles.

Um einem Stahlstabe kräftigen Magnetismus zu ertheilen, bestreicht man denselben mit den Polen eines möglichst starken Magneten. Man setzt hierbei wiederholt den Nordpol in der Mitte auf und streicht von da gegen das eine Ende, aber niemals rückwärts; ebenso behandelt man die andere Hälfte des zu magnetisirenden Stabes mit dem Südpole. Hat man zwei starke Magnete, so kann man natürlich gleichzeitig die eine Hälfte mit dem Nordpole, die andere mit dem Südpole bestreichen. Dieses Verfahren ist überdieß vortheilhafter, da hierbei sich die bestreichenden Pole gegenseitig in ihrer Einwirkung auf den zu magnetisirenden Stab unterstützen.

Ist man im Besitz eines hufeisenförmigen Magneten, so kann man beim Magnetisiren eines Stahlstabes auf die Art verfahren, daß man das Hufeisen mit seinen Polen in der Mitte auf den Stab aufsetzt und dann vorwärts und rückwärts abwechselnd nach dem einen und dem andern Ende hinstreicht und endlich in der Mitte aufhebt.

Soll der herzustellende Magnet ein möglichst großes Gewicht tragen, so giebt man ihm am bequemsten die Form eines Hufeisens und legt diesem einen Anker aus weichem Eisen vor. Indem hier beide Pole sich in ihrer vertheilenden Einwirkung auf den Anker aus weichem Eisen unterstützen, vermögen sie zusammen bedeutend mehr, als das Doppelte von dem zu tragen, was jeder für sich allein zu tragen im Stande ist. Um einen Magneten von sehr großer Tragkraft herzustellen, pflegt man mehrere magnetisirte Stahllamellen in der Art, wie dieß Fig. 152 zeigt, mit einander zu verbinden.

(Fig. 152.)



Man schätzt die Tragkraft eines Magneten danach, das Wievielfache seines eigenen Gewichtes er zu tragen vermag. Kleine Magnete vermögen verhältnißmäßig mehr, als große zu tragen. Als die äußerste bis jetzt erreichte Leistung kann man einen von Logeman in Harlem verfertigten Magneten ansehen, welcher 1 Pfund wiegt und 25 bis 26 Pfund zu tragen vermag. Die Tragfähigkeit eines Magneten hängt aber vorzüglich von der Beschaffenheit und Härte des angewendeten Stahles ab.

In dem folgenden Capitel werden wir sehen, daß sich mit Hülfe des electrischen Stromes aus weichem Eisen Magnete herstellen lassen, welche die in der angegebenen Weise aus Stahl verfertigten Magnete an Tragkraft noch weit übertreffen und viele Centner zu tragen vermögen. Der Magnetismus derselben ist jedoch nicht, wie der der so eben beschriebenen Stahlmagnete, andauernd, sondern nur vorübergehend; er verschwindet fast gänzlich wieder bei dem Aufhören des Stromes.

Wenn man einen Stahlstab durch Bestreichen mit einem Magneten nach den oben beschriebenen Methoden magnetisirt, so nimmt zwar die magnetische

Kraft bei wiederholtem Streichen zu; sie erlangt jedoch sehr bald eine Grenze, über welche sie sich durch fortgesetztes Streichen nicht steigern läßt. Hat man einem Stahlstabe durch Streichen mit einem sehr kräftigen Magneten den stärksten Magnetismus ertheilt, welchen derselbe überhaupt anzunehmen vermag, so verliert er einen Theil desselben wieder, wenn man einen Anker wiederholt einigemal vorlegt und abreißt. Die Tragkraft des Magneten sinkt dann sehr bald auf ein gewisses Maaß herab, welches derselbe jedoch dann Jahre lang ziemlich unverändert beibehält, wenn man denselben gegen störende Einflüsse schützt. Ein Magnet heißt gesättigt, wenn er eben dieses Maaß von magnetischer Kraft besitzt.

Zu den Störungen sind besonders Erschütterungen und Erwärmen zu zählen. Die Kraft eines Magneten wird gänzlich zerstört, wenn man ihn bis zum Glühen erhitzt. Ja, glühendes Eisen wird sogar nicht mehr vom Magneten angezogen. Es verhält sich gegen denselben, wie andere unmagnetische Körper.

Diamagnetismus. So wie hiernach das Eisen nicht unter allen Umständen die Fähigkeit besitzt, magnetisch und von Magneten angezogen zu werden, sondern diese Fähigkeit in der Rothglühhitze einbüßt, so ist auch das Eisen nicht die einzige des Magnetismus fähige Substanz; vielmehr vermögen auch noch viele andere Materien schwachen Magnetismus anzunehmen, und von Magneten angezogen zu werden. Insbesondere war dieß schon seit längerer Zeit von den Metallen Nickel und Kobalt bekannt. Im Jahre 1845 machte jedoch Faraday in England die merkwürdige Entdeckung, daß Substanzen, welche der Magnet nicht anzieht, wie z. B. Wasser, Spiritus, Schwefel, Phosphor, Holz, Brod, Fleisch u. a. m., ferner die meisten Metalle, insbesondere Wismuth, Spießglanz, Zink, Zinn, Quecksilber, Blei, Kupfer, Silber, Gold im Gegentheil von dem Magneten abgestoßen werden und zwar ebenso wohl von dem Nordpole, als von dem Südpole. Diese Abstoßungen sind jedoch äußerst schwach, und es bedarf sehr starker Magnete, wie man sie am besten mit Hülfe des electrischen Stromes erhält, um dieselben nachzuweisen. —

Faraday nennt nun diejenigen Substanzen, welche vom Magneten angezogen werden, und zu denen außer Eisen, Nickel und Kobalt auch Platin, Mangan, Chrom, Graphit, Holzkohle, manche Sorten Papier, Siegellack u. a. m. gehören, paramagnetische, diejenigen aber, welche vom Magneten abgestoßen werden, diamagnetische.

Auch auf luftförmige Körper üben die Pole eines kräftigen Magneten eine Wirkung aus. Im Jahre 1851 hat Plücker in Bonn gezeigt, daß ins Besondere Sauerstoffgas von dem Magneten angezogen wird und also paramagnetisch ist, Wasserstoffgas aber abgestoßen wird und folglich diamagnetisch ist. Stickstoff- und Kohlensäuregas zeigten keine wahrnehmbare Wirkung. Atmosphärische Luft, als ein Gemenge aus Sauerstoff- und Stickstoffgas, verhielt sich paramagnetisch.

Obgleich die Erscheinungen des Diamagnetismus im Haushalte der Natur gewiß nicht ohne wesentlichen Einfluß sind, so ist uns doch über die Bedeutung derselben bei der noch so jungen Entdeckung nichts Näheres bekannt, weshalb wir auch hierbei nicht länger verweilen, sondern uns zur näheren Erörterung der durch den Magnetismus der Erde hervorgerufenen Erscheinungen wenden.

Magnetismus der Erde. In welche Lage gegen die Himmelsgegenden wir auch immer die Nadel eines Compasses bringen, jedesmal kehrt dieselbe, so wie sie sich selbst wieder überlassen ist, in die nehmliche bestimmte Lage, bei welcher das eine Ende

Digitized by Google

gegen Norden, das andere gegen Süden gewendet ist, zurück. Diese merkwürdige Eigenschaft hat schon früh zu der Annahme geführt, daß die Erde selbst magnetisch ist. Als nahe liegend aber reiht sich hieran die Frage, welches die Lage der magnetischen Axe und der Pole der Erde ist. Die Erscheinungen des Erdmagnetismus sind jedoch, wie wir gleich weiter sehen werden, so verwickelt und überdieß so vielfachem Wechsel unterworfen, daß es bis jetzt noch nicht gelungen ist, dieselben auf ein einfaches Prinzip zurückzuführen.

Nach dem oben erörterten Gesetze, daß die gleichnamigen Pole sich abstoßen, die ungleichnamigen Pole sich anziehen, müssen wir annehmen, daß in der nördlichen Erdhälfte der Südmagnetismus, d. h. derjenige Magnetismus, welcher dem in der Nordhälfte der Magnetnadel vorwaltendem Magnetismus entgegengesetzt ist, in der südlichen Erdhälfte der Nordmagnetismus das Uebergewicht hat.

Magnetische Abweichung.

Die magnetischen Pole der Erde können jedoch nicht mit den geographischen zusammenfallen, da die Magnetnadel nur an gewissen Punkten der Erde genau nach Norden und Süden weist, an allen anderen dagegen theils nach der einen, theils nach der anderen Seite abweicht.

In ganz Europa, mit Ausnahme eines kleinen Theiles von Rußland, ist die Abweichung des Nordendes der Magnetnadel vom geographischen Meridiane eine westliche; sie ist aber nicht für alle Orte dieselbe, vielmehr beträgt dieselbe

für London	ohngefähr	23^0
„ Brüssel	„	20^0
„ Göttingen	„	17^0
„ Berlin	„	16^0
„ Petersburg	„	6^0
„ Moskau	„	3^0

Wenn man an einem Orte der Erde sich in der Richtung, welche die Magnetnadel anzeigt, einen Kreis so um die Erde herum gelegt denkt, daß der Mittelpunkt desselben in den Mittelpunkt der Erde fällt, so nennt man diesen Kreis den magnetischen Meridian des Ortes. Diese magnetischen Meridiane fallen, da, wie schon oben bemerkt, die Magnetnadel nur in gewissen Gegenden der Erde genau nach Norden zeigt, im Allgemeinen nicht mit den geographischen Meridianen zusammen, sondern weichen mehr oder weniger von denselben ab. Der Winkel, welchen beide mit einander bilden, wird die magnetische Abweichung oder Declination genannt.

Während die geographischen Meridiane der Erde sich sämmtlich in den nehmlichen Punkten, in den beiden geographischen Polen der Erde, durchschneiden, gilt dasselbe keineswegs auch von den magnetischen Meridianen. Eine solche Convergenz verschiedener Meridiane nach dem nehmlichen Punkte hin findet nur in der Nähe gewisser Stellen statt, welchen man eben darum den Namen der magnetischen Convergenzpunkte oder Pole gegeben hat.

Die in Fig. 153 beigefügte Charte giebt die Lage der Convergenzpunkte für das Jahr 1825 und diejenigen Linien an, auf denen man in den verschiedenen Gegenden der Erde, wenn man immer der Magnetnadel folgte, zuletzt zu dem einen oder anderen der beiden Convergenzpunkte gelangen würde. Diese Linien sind nicht, wie die geographischen Meridiane Kreislinien, sondern Linien von eigenthümlich abweichender Krümmung.

Digitized by Google

Der eine der beiden Convergenzpunkte liegt im nördlichen Amerika in der Nähe der Repulsebay in etwa 70^0 nördlicher Breite und 97^0 westlicher Länge von Greenwich. — Nachdem besonders Hansteen in Christiania durch die Vergleichung der im nördlichen Amerika angestellten Beobachtungen auf diesen Convergenzpunkt hingewiesen, ist derselbe im Jahre 1831 durch den Seefahrer Roß, nahe übereinstimmend mit Hansteens Angaben, wirklich aufgefunden worden. Als Roß diesen Punkt umfuhr, machte auch die Magnetnadel einen vollständigen Umlauf, so daß das Ende der Nadel, welches in unseren Gegenden nach Norden gerichtet ist, fortwährend gegen denselben hinwies und daher nach Süden zeigte, als Roß sich nördlich von diesem Punkt befand. In der unmittelbaren Nähe desselben aber hatte die Magnetnadel ihre Richtkraft gänzlich verloren; sie zeigte erst in der Entfernung mehrerer Meilen von demselben wieder das Bestreben, eine bestimmte Lage anzunehmen.

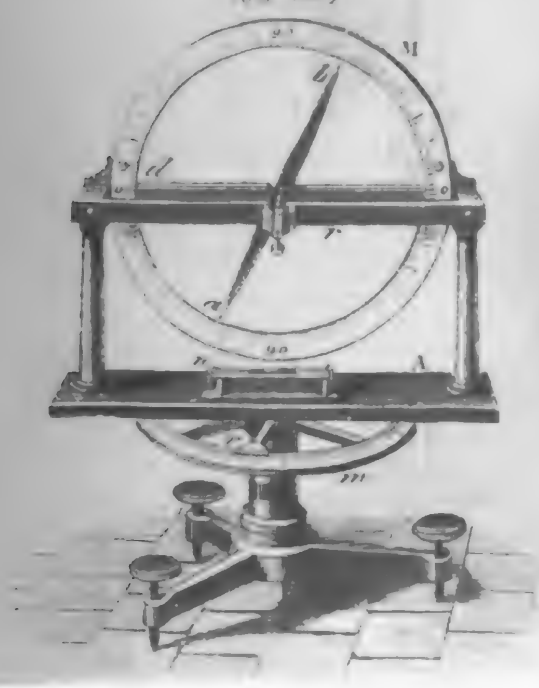
Ein zweiter Convergenzpunkt findet sich im Süden von Neuholland in ohngefähr 75^0 südl. Breite und 154^0 östl. Länge von Greenwich. Auch dieser Punkt ist durch Roß näher bestimmt, jedoch nicht, wie der nördliche, ganz erreicht worden.

Die beiden magnetischen Pole oder Convergenzpunkte liegen einander nicht, wie die geographischen Pole, diametral gegenüber; sie sind nicht um einen Halbkreis von 180^0, sondern nur um einen Bogen von etwa 161^0 von einander entfernt.

Magnetische Neigung.

Wir haben oben angegeben, daß in der unmittelbaren Nähe des nördlichen Convergenzpunktes die Magnetnadel ihre Richtkraft eingebüßt hatte. Diese Erscheinung beruhte offenbar darauf, daß an dieser Stelle die Kraft des Erdmagnetismus eine senkrecht in die Tiefe gehende Richtung hatte und daher auf die nur in horizontaler Richtung bewegliche Nadel des Compasses keine Wirkung ausüben konnte. Da wir uns dem nördlichen Pole bei Weitem näher, als dem südlichen befinden, so läßt sich erwarten, daß in unseren Gegenden die magnetische Kraft der Erde nicht wagerecht, sondern schief in die Tiefe gehend gerichtet sein wird. Die gewöhnliche Compaßnadel kann die schiefe Neigung nicht anzeigen, da sie nur eine horizontale Drehung zuläßt. Um diese Neigung zu messen, dient das Inclinatorium.

(Fig. 154.)



Dieses besteht aus einer Magnetnadel ab, Fig. 154, welche um eine genau durch ihren Schwerpunkt gehende, wagerechte Axe drehbar ist und über einem verticalen Kreise M spielt. Das Gestell, an welchem dieser Kreis befestigt ist, läßt sich vermittelst des Armes v in wagerechter Richtung um den

Digitized by Google

Mittelpunkt des eingetheilten Kreises m drehen. Drei Stellschrauben und eine Wasserwage n dienen dazu dem Instrumente eine genau wagerechte Stellung zu geben. Nachdem dieses erreicht worden ist, dreht man den Arm v so, daß der Kreis M in die Ebene des magnetischen Meridianes fällt. Die Nadel nimmt dann eine stark gegen den Horizont geneigte Lage an, und der Punkt des eingetheilten Kreises M, auf welchen das Nordende der Nadel a hinweist, giebt die magnetische Neigung an.

Da, wie wir früher gesehen, die Pole der Nadel keinesweges mit den Endspitzen derselben zusammenfallen, da dieselben nicht einmal nothwendig in der diese Spitzen verbindenden Linie liegen, sondern auch etwas seitwärts von dieser Linie fallen können, was von der Art des beim Magnetisiren der Nadel angewendeten Streichens abhängen dürfte, so läßt man die Drehungsaxe der Nadel lose in zwei an dem Gestelle angebrachten Pfannen ruhen, so daß man die Nadel leicht in der Art umlegen kann, daß die vorher nach r gewendete Seite derselben jetzt nach d hin gerichtet ist. Man stellt demgemäß bei jeder Abmessung der magnetischen Neigung zwei Beobachtungen an, indem man die Nadel in die beiden angegebenen Lagen bringt, und nimmt dann aus beiden Beobachtungen das Mittel.

In ähnlicher Art und aus gleichen Gründen hat man auch bei der Abmessung der magnetischen Abweichung oder Declination zu verfahren. Man legt nehmlich die zu dieser Abmessung dienende Compaßnadel so um, daß die vorher nach oben gewandte Seite nun nach unten gekehrt ist, und nimmt dann das Mittel aus beiden Beobachtungen.

So wie die magnetische Abweichung ist auch die Neigung für die verschiedenen Gegenden der Erde sehr verschieden. Dieselbe nimmt auf der nördlichen Erdhälfte im Allgemeinen mit der Annäherung an den Convergenzpunkt zu, mit der Entfernung von demselben ab. Sie beträgt z. B.:

für Petersburg	ohngefähr	70°	nördlich,
„ Berlin und Göttingen . .	„	67°	„
„ Malta	„	53°	„
„ Alexandrien	„	44°	„
„ Mokka in Afrika . . .	„	7°	„
„ St. Helena	„	22°	südlich,
„ das Cap der guten Hoffn.	„	53°	„

Während die Inclinationsnadel, als Roß den oben näher bezeichneten Convergenzpunkt erreicht hatte, sich, mit dem Nordende nach unten gerichtet, senkrecht stellte, giebt es in der Nähe des geographischen Aequators Gegenden, in denen die Inclinationsnadel eine wagerechte Lage einnimmt. Wenn man alle die Punkte der Erdoberfläche, an denen dieses der Fall ist, sich mit einander verbunden denkt, so erhält man eine zusammenhängende Linie, welche der magnetische Aequator genannt wird und deren Verlauf die in Fig. 153 abgebildete Charte darstellt.

Man wird hier bemerken, daß der magnetische Aequator den geographischen Aequator an zwei Stellen, einmal an der Westküste von Afrika und das anderemal im stillen Ocean ohngefähr in der Mitte zwischen Asien und Amerika durchschneidet. Von den beiden ungleichen Hälften, in welche durch diese Punkte der magnetische Aequator getheilt wird, entfernt sich die durch Afrika und Asien gehende bis auf etwa 10 Grad nördlich, die durch Südamerika gehende bis beinahe 15° südlich vom geographischen Aequator.

An der Südseite des magnetischen Aequators ist nicht, wie bei uns,

Digitized by Google

das Nordende, sondern das Südende der Inclinationsnadel nach unten geneigt. Wenn man diejenigen Orte, welche eine gleiche magnetische Neigung haben, durch Linien verbindet, so erhält man Linien, welche den Namen isoklinische führen und ebenfalls auf der Charte in Fig. 153 abgebildet sind. Dieselben laufen in der Nähe des magnetischen Aequators diesem nahezu parallel und wenden in der Nähe der magnetischen Pole diesen ihre hohle Seite zu.

Intensität des Erdmagnetismus.

Das Vorhergehende betraf nur die Richtung der magnetischen Kraft für die verschiedenen Gegenden der Erde; eine sehr wesentliche, zuerst durch Al. von Humboldt angeregte Frage betrifft die Größe dieser Kraft oder, wie man gewöhnlich sagt, die Intensität des Erdmagnetismus.

Wir haben früher gesehen, daß die Schwere nicht für alle Gegenden der Erde eine gleiche Größe hat, sondern von den Polen nach dem Aequator hin abnimmt, und daß wir die Kenntniß dieser Verschiedenheit den Beobachtungen der Pendelschwingungen verdanken. Eben so hat Alex. von Humboldt die große Verschiedenheit zwischen der Stärke des Erdmagnetismus in Europa und in Südamerika durch die Beobachtungen der Schwingungen der Magnetnadel nachgewiesen. Derselbe fand nehmlich, daß seine Magnetnadel innerhalb 10 Minuten in Peru am magnetischen Aequator nur 211 Schwingungen, in Paris dagegen in der nehmlichen Zeit 245 Schwingungen machte. Es verhalten sich aber die magnetischen Kräfte wie die Quadrate dieser Zahlen, also ohngefähr wie 3 zu 4.

Im Allgemeinen nimmt die Intensität des Erdmagnetismus von den beiden Polen nach dem magnetischen Aequator hin ab. Sie ist jedoch an diesem nicht überall von gleicher Stärke, auch an den Polen selbst nicht am stärksten. Die größte in der Nähe des südlich von Neuholland gelegenen Poles beobachtete Intensität übertrifft die schwächste am Aequator fast um das Dreifache, während die Schwere am Aequator nur ohngefähr um ein Zweihundertstel kleiner, als an den geographischen Polen ist.

Veränderungen in der Richtung und Stärke des Erdmagnetismus.

Die Declination, die Inclination und Intensität des Erdmagnetismus sind nicht blos für verschiedene Orte der Erde verschieden; sie behalten auch an dem nehmlichen Orte nicht beständig die nehmliche Größe. Die Magnetnadel, welche gegenwärtig fast in ganz Europa gegen Westen abweicht, zeigte vor 300 Jahren eine östliche Abweichung. Die Größe dieser östlichen Abweichung betrug für Paris im Jahre 1580 $11\frac{1}{2}$ Grad; dieselbe verminderte sich allmählig und im Jahre 1663 zeigte die Magnetnadel gerade nach Norden; sie fuhr jedoch fort sich nach Westen zu bewegen und erreichte im Jahre 1814 die größte westliche Abweichung von $22\frac{1}{2}$ Grad.

Nachdem also die Magnetnadel von 1580 (und vielleicht von noch früherer Zeit her) bis zum Jahre 1814 sich beständig von Osten nach Westen hin bewegt hat, schwingt sie jetzt allmählig in der entgegengesetzten Richtung von Westen nach Osten. Wie lange aber diese Schwingung, in Folge deren sich nun die westliche Abweichung fortwährend vermindert, andauern wird, darüber werden durch unmittelbare Beobachtung erst spätere Jahrhunderte entscheiden können. Bei genauerer Erforschung der die Erscheinungen des Erdmagnetismus bedingenden Ursachen dürfte sich jedoch wahrscheinlich schon früher aus theoretischen Gründen die Periode dieser Schwingungen ableiten lassen, so wie ja auch die Astronomen aus den in dem Zeitraume nur weniger Jahre angestellten Beobachtungen eines neu entdeckten Planeten (des Neptun) die Jahrhunderte umfassende Periode seines Umlaufes zu berechnen vermögen.

Digitized by Go

So wie im mittleren Europa gegenwärtig die Declination sich vermindert, so ist auch die Inclination in der Abnahme begriffen. Die Beobachtungen der magnetischen Neigung umfassen jedoch kaum noch ein Jahrhundert, und wir sind daher nicht im Stande, darüber zu entscheiden, ob die Bewegung der Inclinationsnadel in einer früheren Periode, eben so wie bei der Declinationsnadel, in der entgegengesetzten Richtung erfolgt ist.

Zwischen beiden Bewegungen zeigt sich aber die Verschiedenheit, daß die Declinationsnadel von Westen nach Osten mit zunehmender Geschwindigkeit (ähnlich wie ein Pendel, nachdem es bis zum äußersten und höchsten Punkte emporgestiegen ist und dann wieder umkehrt) fortschreitet, das Nordende der Inclinationsnadel dagegen mit abnehmender Geschwindigkeit sich aufwärts bewegt.

In Brüssel betrug im Jahre

1832	die Declination	22° 18′,	die Inclination	68° 49′
1842	"	"	21° 35′,	"	"	68° 15′
1852	"	"	20° 18′,	"	"	67° 49′.

Innerhalb der ersten 10 Jahre von 1832 bis 1842 ist also das Nordende der Declinationsnadel um 43, in den letzteren 10 Jahren von 1842 bis 1852 aber um 77 Minuten in der Richtung von Westen nach Osten fortgeschritten. Dagegen hat sich das Nordende der Inclinationsnadel innerhalb der ersteren 10 Jahre um 34, in den letzteren 10 Jahren nur um 26 Minuten aufwärts bewegt.

Da wir die Periode, in welcher die Veränderungen der magnetischen Abweichung und Neigung ohne Zweifel eingeschlossen sein dürften, noch nicht einmal kennen, so kann es nicht befremden, wenn uns zur Zeit die Ursache derselben gänzlich verborgen ist.

Außer den so eben besprochenen größeren Bewegungen zeigt insbesondere die Declinationsnadel noch kleinere, nur wenige Minuten umfassende tägliche Schwankungen, welche ohne Zweifel ihren Grund in dem Wechsel der Tageswärme haben dürften, da sie mit diesem in der nehmlichen Periode eingeschlossen sind.

Wie wir schon oben gesehen, wird der Magnetismus durch die Wärme geschwächt. Auf diese Erfahrung gestützt, hat Dove in Berlin für die täglichen Schwankungen der Magnetnadel folgende Erklärung gegeben: des Morgens werden die östlichen Gegenden der Erde durch die Sonne früher und stärker erwärmt, als die westlichen; es müssen folglich die letzteren stärker anziehend auf die Magnetnadel wirken, als die östlichen. Das Nordende der Nadel bewegt sich daher am Vormittage gegen Westen. Einige Stunden Nachmittags dagegen geht diese Bewegung in die entgegengesetzte über, weil jetzt die Verhältnisse der Erwärmung der Erdoberfläche durch die Sonnenstrahlen die entgegengesetzten sind, und hält etwa bis 10 Uhr Abends an. Während der Nacht bis gegen Sonnenaufgang steht die Nadel ziemlich still.

Die Größe der Schwankungen ist für verschiedene Gegenden der Erde verschieden; sie betragen für Göttingen im Sommer ohngefähr $12^1/_2$, im Winter $6^1/_2$ Minute. Auch dieser Umstand stimmt mit der obigen Erklärung überein, da die Ungleichheit zwischen der Temperatur des Tages und der Nacht im Sommer viel beträchtlicher, als im Winter zu sein pflegt.

Außer diesen regelmäßigen periodischen Schwankungen, welche man Variationen nennt, zeigt die Magnetnadel auch zuweilen unregelmäßige Bewegungen, welchen man den Namen Störungen giebt. Bei diesen geht

Digitized by Google

die sonst pendelartige ruhige Schwingung der Nadel in eine regellos vor- und rückwärts springende Bewegung über.

Diese Störungen pflegen besonders zur Zeit eines Nordlichtes einzutreten und zeigen sich auch an Orten, welche von dem Ursprung dieses Phänomens sehr weit entfernt sind, und in denen dasselbe daher selbst nicht mehr wahrgenommen werden kann. — Der folgende Abschnitt wird uns den möglichen Zusammenhang des Nordlichtes mit dem Magnetismus der Erde zeigen.

Die Electricität.

Kenntnisse des Alterthums von der Electricität.

Der Name Electricität stammt von dem griechischen Worte Electron, welches Bernstein bedeutet. Schon 600 Jahre vor Christi Geburt soll ein griechischer Philosoph, Thales von Milet, die Eigenschaft des Bernsteins, leichte Körper anzuziehen, welche derselbe durch Reiben erlangt, gekannt haben. Weiterhin wird auch noch die gleiche Eigenschaft von einem Edelsteine erwähnt, welcher unter dem Namen Lynkurer aufgeführt wird, worunter wahrscheinlich der Hyacinth (Zirkon) zu verstehen ist.

Auf dieses geringe Maaß beschränkt sich die ganze Kenntniß von der Electricität, welche sich überhaupt bei den alten Griechen vorfindet. Im Verlaufe der Jahrhunderte wird auch noch die gleiche Eigenschaft, wie am Bernstein, an der mit dem Namen Gagat bezeichneten Pechkohle entdeckt.

Gilbert's Versuche.

Erst im Jahre 1600 nach Christi Geburt erfährt die Kenntniß der electrischen Erscheinungen eine wesentliche Erweiterung. Der Engländer Gilbert zeigt nehmlich in seiner in diesem Jahre, unter dem Titel de Magnete, herausgegebenen Schrift, daß außer Bernstein und Gagat auch zahlreiche andere Körper, insbesondere der Diamant, Saphir, Beryll, Bergkrystall und andere Edelsteine, ferner Glas, Schwefel, Siegellack und viele andere Körper durch Reiben die Fähigkeit erlangen, leichte Körper anzuziehen.

Neben anderen interessanten Beobachtungen, welche Gilbert in der angeführten Schrift mittheilt, macht derselbe auch die noch heutigen Tages von allen, welche sich mit Versuchen über die durch Reibung erregte Electricität beschäftigen, bestätigte Bemerkung, daß die electrischen Erscheinungen bei trockener Luft, nördlichen und östlichen Winden stärker hervortreten, als bei feuchter Luft und südlichen Winden.

Gilbert's für die Electricitätslehre Epoche machende Schrift erschien, wie schon bemerkt, im Jahre 1600. Wir können nicht unterlassen, unsere Leser darauf hinzuweisen, daß von dem Schlusse des 16ten und dem Anfange des 17ten Jahrhunderts überhaupt die neuere Physik datirt. Um diese Zeit wurden das Fernrohr, das Mikroscop und das Thermometer erfunden. 1602 entdeckte Galilei die Gesetze des Falles und der Pendelschwingungen und 1610 der unsterbliche Keppler die Gesetze der Planetenbewegungen.

Wenige Blätter würden hinreichen, das, was bis zum Jahre 1600 an physikalischen Kenntnissen überhaupt vorhanden war, zusammenzufassen. Von diesem Jahre an aber folgen sich, in immer kürzeren Zwischenräumen sich an einander drängend, die mannigfaltigen und großartigen Entdeckungen, durch welche gegenwärtig die Physik zu einer so weiten und reichen Wissenschaft angewachsen ist. Die Geschichte der Electricitätslehre giebt uns die geeignetste Gelegenheit, um an einem Zweige der gesammten physikalischen Wissenschaft unseren Lesern die Verhältnisse dieses Wachsthums vor Augen zu stellen.

Digitized by Google

Den wichtigsten Fortschritt nach Gilbert's Entdeckung vom Jahre 1600 erfährt die Electricitätslehre durch den Engländer Gray, welcher im Jahre 1729 den Unterschied zwischen guten und schlechten Leitern auffindet.

Während also die erste Periode von Thales bis Gilbert über zwei Jahrtausende umfaßt, begreift die zweite Periode nur wenig mehr, als ein Jahrhundert, aber doch noch immer ein volles Jahrhundert.

Ehe wir von der so wichtigen Entdeckung Gray's ausführlicher handeln, bemerken wir noch, daß in dem Zeitraume von Gilbert bis Gray sich in Deutschland besonders Otto von Guerike, in England Boyle, Wall und Hawksbee mit electrischen Versuchen beschäftigt haben. Boyle und Guerike beobachteten das electrische Licht, ersterer an einem geriebenen Diamanten, letzterer an einer geriebenen Schwefelkugel; Wall aber bemerkte (1708) den electrischen Funken und das denselben begleitende Knistern, welche sich zeigten, wenn Jemand einem geriebenen Stück Bernstein den Finger näherte. Merkwürdiger Weise vergleicht er bereits Beides mit dem Blitze und dem Donner. Hawksbee stellte (1709) mit Hilfe der Luftpumpe Versuche über die electrischen Erscheinungen im luftverdünnten Raume an und beobachtete das sich hier zeigende strahlende Licht.

Electrische Erscheinungen.

Wollen unsere Leser die bis jetzt aufgeführten Erscheinungen, Anziehung und electrisches Licht, in der einfachsten Weise selbst hervorrufen, so werden sie sich hierzu am bequemsten einer Siegellackstange bedienen, welche sie an wollenem Zeuge (vielleicht an der eignen Kleidung) reiben. Auf dem Tische herumgestreute kleine Papierschnitzchen, Strohhälmchen oder andere leichte Körper werden dann mit Lebhaftigkeit von der geriebenen Siegellackstange angezogen. Im Dunkeln erscheint, wenn derselben die Spitze des Fingers oder der Knöchel des krummgebogenen Fingers genähert wird, ein kleiner Funken, welcher von einem schwachen Knistern begleitet ist. Der Versuch gelingt, wie alle Versuche über Reibungselectricität, im Winter am besten in der Nähe des geheizten Ofens.

Gray's Entdeckung.

Nach dieser Einschaltung gehen wir nun zu der großartigen Entdeckung über, welche der Engländer Gray im Jahre 1729 machte, und mit der eine ganz neue Epoche für die Electricitätslehre beginnt. Vor Gray's Entdeckung nahm man an, daß überhaupt nur gewisse Körper, wie Glas, Harz, Schwefel u. dgl., die Fähigkeit besäßen, electrische Erscheinungen zu zeigen, in ähnlicher Art, wie unter den bekannteren Körpern allein das Eisen magnetisch wird. Man nannte daher jene Körper electrische; die übrigen Körper aber, bei denen es trotz aller angewandten Mühe nicht gelingen wollte, dieselben durch Reiben electrisch zu machen, nannte man unelectrische. Indem Gray's Entdeckung Aufschluß über den Grund dieser Verschiedenheit gewährte, bot sie auch die Mittel dar, die Electricität von den geriebenen Körpern auf nicht geriebene zu übertragen, auf andere Körper fortzuleiten; kurz sie ermöglichte für ein folgendes Jahrhundert die Erfindung des electrischen Telegraphen. Doch wir wenden uns zu der Geschichte von Gray's Entdeckung selbst.

Im Februar des Jahres 1729 bemerkte Gray, mit electrischen Versuchen beschäftigt, bei denen er sich einer an beiden Enden zur Abhaltung des Staubes durch Korke verschlossenen Glasröhre bediente, als er dem oberen Ende dieser Röhre eine Flaumfeder gegenüber brachte, daß diese nicht nach der Röhre, sondern nach dem Korkstöpsel hinflog. Gray erfaßte und verfolgte sofort diese für die damalige Zeit, in welcher, wie schon oben bemerkt,

Digitized by Google

die electrische Fortleitung noch unbekannt war, höchst auffallende Erscheinung mit ebenso viel Scharfsinn, als Ausdauer. Nachdem er sich wiederholt überzeugt, daß die Flaumfeder nicht blos von der geriebenen Röhre, sondern auch von dem Korkstöpsel angezogen (und nach der Berührung wieder abgestoßen) wurde, und hieraus den so wichtigen Schluß gezogen hatte, daß die electrisch gemachte Röhre dem Stöpsel ihre anziehende Kraft mitgetheilt habe, steckte er, um zu sehen, ob sich die Electricität noch weiter fortleiten lasse, zunächst ein 4 Zoll langes hölzernes Stäbchen in den Kork und befestigte an das Ende desselben eine elfenbeinerne Kugel. Er bemerkte, daß die Kugel mit noch größerer Lebhaftigkeit, als der Kork die Flaumfeder anzog.

Als er statt des kurzen Stäbchens längere Dräthe zur Verbindung der Kugel mit dem Korke anwendete, wurde das Schwanken derselben beim Reiben der Röhre unbequem. Er befestigte daher die Kugel an einen Bindfaden und vermittelst einer Schleife an die Röhre, und indem er auf einen 26 englische Fuß (16 engl. Fuß ohngefähr gleich 15 Preuß. Fuß) hohen Balkon stieg, fand er, daß auch jetzt die Kugel leichte Körper, welche auf dem Hofe lagen, anzog. Um die Electricität in horizontaler Richtung noch weiter fortzuleiten, als in senkrechter Richtung ausführbar war, befestigte er einen Bindfaden mit dem einen Ende an einen Nagel, welchen er in einen Balken geschlagen hatte, und brachte an dem andern Ende des herabhängenden Bindfadens eine Schleife an, durch welche er den Bindfaden hindurchführte, welcher mit dem einen Ende vermittelst der Schleife mit der Röhre in Verbindung stand, an dem andern Ende aber die Kugel trug, so daß also der Theil dieses Bindfadens von der Röhre bis zur Schleife des an den Nagel befestigten Bindfadens horizontal lief, der übrige Theil aber von da bis zur Kugel senkrecht herabhing. Da jedoch jetzt nach dem Reiben der Röhre die Kugel keine Spur von electrischer Anziehung zeigte, so zog er hieraus den vollkommen richtigen Schluß, daß die Electricität durch den von dem Balken herabhängenden Bindfaden nach diesem fortgeleitet werde, so daß nichts oder nur sehr wenig zu der elfenbeinernen Kugel gelangen konnte. Trotz alles Nachdenkens wollte es ihm nicht gelingen, ein Mittel, dieses zu verhindern, ausfindig zu machen.

Als Gray einen Monat später einen Freund Namens Wheeler besuchte und denselben mit seinen electrischen Versuchen und dem Ausbleiben des Erfolges in dem zuletzt erzählten Falle bekannt machte, schlug ihm dieser vor, statt der hänfenen Schnur, welche dazu diente, den die Electricität fortleitenden Bindfaden zu tragen, eine seidene Schnur anzuwenden. Gray hielt diesen Vorschlag für angemessen, indem er meinte, daß durch die dünnere seidene Schnur weniger Electricität verloren gehen dürfte, als durch die dickere hänfene Schnur.

Um den Versuch auszuführen, spannten sie eine Schnur, deren mittlerer Theil aus Seide bestand, in horizontaler Richtung aus und ließen quer über die seidene Schnur den Bindfaden gehen, welcher die Electricität von der Röhre zur Kugel in der schon früher beschriebenen Weise fortleiten sollte. Der wagerechte Theil dieses Bindfadens von der Röhre bis zur seidenen Schnur hatte eine Länge von achtzig und einem halben engl. Fuß, und von da hing derselbe noch ohngefähr neun Fuß herab. Als sie nun die Röhre rieben, fanden sie, daß leichte Körper von der Kugel angezogen wurden; ja es gelang dieß selbst dann noch vollkommen, als sie die Schnur um hundert Fuß verlängerten.

Sie versuchten nun weiter die Schnur mehrmals hin und her zu füh-

Digitized by Google

ren. Hierbei ereignete es sich jedoch, daß die seidene Schnur in Folge des zu großen Gewichtes zerriß. Sie ersetzten hierauf dieselbe durch einen Messingdraht, und obschon dieser nicht dicker war, als die seidene Schnur, blieb doch jetzt aller Erfolg aus, indem der dünne Messingdrath die Electricität ebenso fortleitete, wie der früher angewandte dickere Bindfaden. Sie erkannten nun, daß die electrische Fortleitung nicht, wie sie anfangs vermuthet hatten, von der Dicke oder Dünne der angewendeten Schnur, sondern von der Substanz derselben, ob sie aus Seide oder von anderem Material bestanden, abhing. Als sie daher wieder seidene Schnüre von hinreichender Stärke zum Tragen der fortleitenden hänfenen Schnur gebrauchten, gelang es ihnen die Electricität 765 Fuß weit fortzuführen, ohne daß sie trotz der weiten Entfernung eine wirkliche Schwächung in der Wirkung beobachteten.

Bei der großen Wichtigkeit von Gray's Entdeckung, zumal für unsere Tage, hoffen wir auf die Nachsicht unserer Leser rechnen zu dürfen, wenn wir so lange bei der Geschichte derselben Entdeckung verweilt haben. Besteht die Kunst des Telegraphirens im Wesentlichen darin, bestimmte Zeichen in der Ferne hervorzubringen, so ist Gray ohnstreitig derjenige, welcher zuerst mit Hülfe der Electricität auf die Entfernung von mehreren hundert Fuß telegraphirt hat.

Endlich führen wir noch kurz an, daß Gray seine Entdeckung sofort in der mannigfaltigsten Weise ausbeutete, und daß er die verschiedenartigsten Körper, unter anderen auch Knaben, welche er in härenen Schnüren aufhing, electrisirte.

Gute und schlechte Leiter.

Zu Folge der Entdeckung Gray's unterscheiden wir überhaupt gute und schlechte Leiter der Electricität. Die besten Leiter der Electricität sind die Metalle, demnächst Kohle, ferner Wasser und alle wässerigen Flüssigkeiten, daher auch thierische und Pflanzenkörper im saftreichen Zustande, feuchtes Erdreich u. dgl. m. Schlechte Leiter sind Glas, alle durchsichtigen Edelsteine, Schwefel, Harz, Seide, Haare, trocknes Holz, Papier, die verschiedenen Fette und Oele und trockene Luft.

Die guten Leiter verbreiten die Electricität über ihre ganze Oberfläche und verlieren sie ebenso, wenn sie berührt werden, in ihrer ganzen Ausdehnung. Die schlechten Leiter verlieren und empfangen die Electricität nur an der berührten Stelle. Zwischen beiden findet jedoch keine scharfe Scheidung, sondern ein allmähliger Uebergang durch die sogenannten Halbleiter statt, zu denen Elfenbein, Knochen, Horn, Marmor, Kreide, Gyps, überhaupt die meisten undurchsichtigen Erden und Steine gerechnet werden.

Schlechte Leiter wie Glas, Siegellack, Schwefel lassen sich, auch wenn man dieselben in der Hand hält, durch Reiben electrisiren. Bei guten Leitern gelingt dieses dagegen nicht, weil die erregte Electricität in den menschlichen Körper und durch diesen in die Erde fortgeleitet wird. Sollen dieselben durch Reiben oder Mittheilung electrisirt werden, so müssen sie isolirt, d. h. ringsum von Nichtleitern umgeben sein. Als Isolatoren wendet man am gewöhnlichsten Glas, Gutta-Percha und Seide an.

Positive und negative Electricität.

Bald nach des Engländers Gray's großartigen Entdeckung wurde 1735 die Kenntniß der electrischen Erscheinungen und ihrer Gesetze um einen ebenfalls sehr wesentlichen Schritt durch den Franzosen Dü Fay weiter geführt. Dü Fay, welcher Gray's Versuche über die electrische Leitung und Mittheilung wiederholte und erweiterte, fand nehmlich, daß es zwei entgegengesetzte Electricitäten giebt, welche er Glas- und Harz-Electricität

Digitized by Google

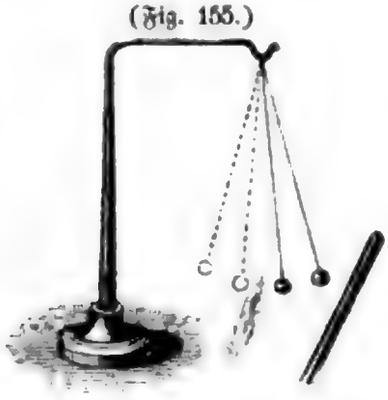
nannte, und denen man später nach dem Vorgange Franklins die Namen positive und negative Electricität beigelegt hat. Auch fand derselbe, daß die beiden entgegengesetzten Electricitäten das nehmliche Gesetz wie die beiden Magnetismen befolgen, nehmlich:

Die gleichnamigen Electricitäten stoßen sich ab, die ungleichnamigen ziehen sich an.

Zwar hatten schon früher verschiedene Physiker die Abstoßung gleichnamiger Electricitäten beobachtet. So hatte Guerike bemerkt, daß eine Flaumfeder von einer Schwefelkugel nicht blos angezogen, sondern demnächst auch wieder abgestoßen wurde. Das Vorhandensein zweier verschiedenen Electricitäten und das eben vorgetragene Gesetz ist jedoch zuerst durch dü Fay aufgefunden worden. Ueber die Geschichte der Entdeckungen desselben ist aber nichts Näheres bekannt.

Man kann die Richtigkeit des angeführten Gesetzes sehr leicht zeigen, wenn man zwei kreisrunde Papierscheibchen (etwa von der Größe eines Pfennigstückes) an seidenen Fäden neben einander aufhängt. Nähert man dann denselben eine Glasröhre, welche man an einem wollenen Lappen gerieben hat, so werden sie von dieser erst angezogen, nach der Berührung aber abgestoßen, Fig. 155, und zugleich stoßen sie sich selbst, da sie mit gleicher Electricität geladen sind, gegenseitig ab. Die nehmlichen Erscheinungen beobachtet man, wenn man den Papierscheibchen eine an einem wollenen Lappen geriebene Siegellackstange bis zur Berührung nähert. — Nähert man aber den Scheibchen, welche mit der Glasstange in Berührung gewesen sind und von derselben abgestoßen werden, eine geriebene Siegellackstange, so werden sie von dieser lebhaft angezogen, und eben so werden die Scheibchen, wenn sie mit der Siegellackstange in Berührung gewesen sind, von der Glasstange angezogen. Bringt man das eine Scheibchen mit der Glasstange, das andere mit der Siegellackstange in Berührung, so ziehen sie sich, da sie mit entgegengesetzter Electricität geladen sind, gegenseitig an.

(Fig. 155.)



Das eben Ausgeführte liefert uns auch ein sehr einfaches Mittel, die Electricität eines Körpers, z. B. einer geriebenen Schwefelstange, zu prüfen. Wir hängen zu diesem Zwecke zwei Scheibchen an seidenen Fäden auf und ertheilen dem einen durch Berührung mit einer Glasstange, welche wir an einem wollenen Lappen gerieben haben, positive, dem anderen durch Berührung mit einer eben so geriebenen Siegellackstange negative Electricität. Wir beobachten dann, welches der beiden Scheibchen von der Schwefelstange, die wir ebenfalls an einen wollenen Lappen gerieben haben, abgestoßen wird. Da dieß bei dem durch die Siegellackstange mit negativer Electricität geladenen Scheibchen der Fall ist, so besitzt folglich die Schwefelstange negative Electricität.

Die Electricität stimmt auch noch in einem anderen, jedoch erst im Laufe späterer Untersuchungen festgestellten Umstande mit dem Magnetismus überein, daß nehmlich niemals eine Electricität allein erhalten werden kann, sondern immer beide zugleich auftreten. Wenn irgend zwei verschiedenartige Körper aneinander gerieben werden, so bekommt allemal der eine positive,

Digitized by Google

der andere negative Electricität. Wird z. B. Glas an einem wollenen Lappen gerieben, so wird das Glas positiv und zugleich die Wolle negativ electrisch; wird aber Siegellack an Wolle gerieben, so wird die Wolle positiv und das Siegellack negativ electrisch.

Welcher von beiden geriebenen Körpern positiv oder negativ electrisch wird, hängt nicht blos von der Materie des geriebenen Körpers, sondern auch von der Beschaffenheit seiner Oberfläche ab. Eine geringe Veränderung in dieser kann schon zu einem ganz entgegengesetzten Resultate führen. So wird z. B. polirtes Glas mit Wolle gerieben positiv, matt geschliffenes dagegen negativ electrisch. Ein allgemeines und durchgreifendes Gesetz, nach welchem sich im Voraus die Electricität, welche ein Körper durch Reiben mit einem anderen erlangt, bestimmen ließe, ist noch nicht ermittelt worden. Von den nachstehend aufgeführten Körpern:

Katzenfell, polirtes Glas, Wolle, Seide, Harz, mattgeschliffenes Glas,

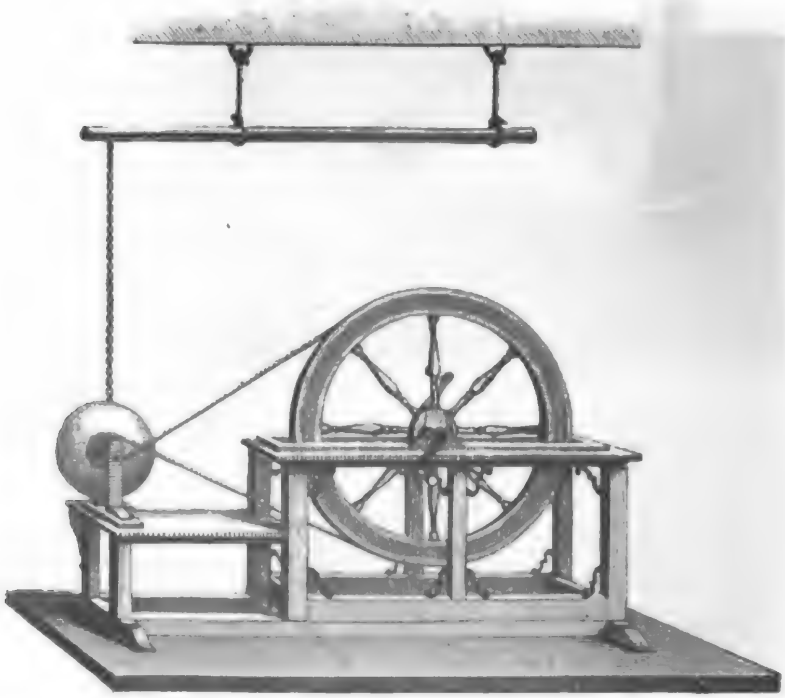
bekommt jeder vorangehende, wenn er mit einem folgenden gerieben wird, positive, der folgende negative Electricität.

Ein wesentlicher Unterschied zwischen Electricität und Magnetismus zeigt sich jedoch darin, daß beide Magnetismen immer an den nehmlichen Körper gebunden sind, die beiden Electricitäten sich dagegen getrennt an verschiedenen Körpern erhalten lassen.

Die Electrisirmaschine.

So wie die Entdeckung des Gesetzes der electrischen Polarität durch dû Fay nur durch die vorangegangene Entdeckung Gray's über die electrische Leitung ermöglicht wurde, so führte dieselbe auch sehr bald zu einer wichtigen Bereicherung des electrischen Geräthes durch die Erfindung der Electrisirmaschine, welche dem Physiker das geeignete Mittel darbot, die Electricität in einem weit stärkeren Maaße zu erregen, als bis dahin möglich gewesen war.

(Fig. 156.)

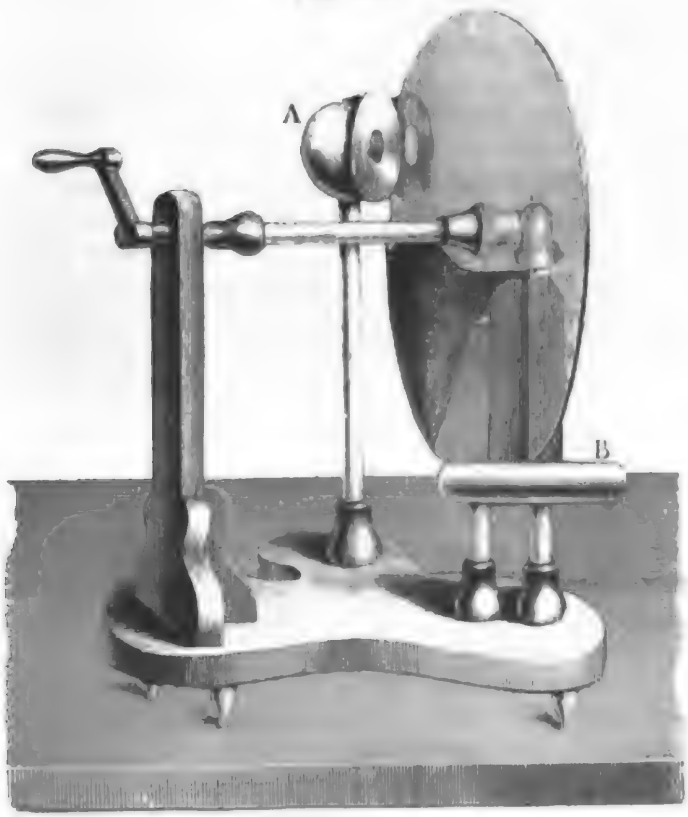


Um die Construction der Electrisirmaschine haben sich besonders deutsche Physiker, Bose in Wittenberg, Hausen und Winkler in Leipzig (1742—45) verdient gemacht und dieselbe zur Ausführung neuer Versuche benutzt.

Die Haupttheile einer Electrisirmaschine sind der Reiber, das Reibzeug und der Conductor. Bei den Maschinen ältester Einrichtung, deren Fig. 156 eine darstellt, bestand der Reiber aus einer gläsernen Kugel, das Reibzeug wurde durch die hohle Hand ersetzt, welche an die Kugel gehalten wurde, und der Conductor war gewöhnlich ein Flintenlauf, welcher an seidenen Schnüren an der Decke des Zimmers aufgehängt war. Um eine schnellere Umdrehung der Kugel zu bewirken, war die Axe derselben durch einen Schnurlauf mit einem größeren Rade verbunden, welches durch einen Gehilfen vermittelst einer Kurbel umgedreht wurde.

Fig. 157 zeigt eine Electrisirmaschine nach der neuesten und besten Einrichtung, wie sie von Winter in Wien geliefert werden. Der Reiber ist eine starke Scheibe von Spiegelglas, welche an einer Axe befestigt ist, die durch eine Kurbel umgedreht werden kann; ein Theil dieser Axe zwischen der Scheibe und der Kurbel ist von Glas, der übrige von Holz.

(Fig. 157.)



Als Reibzeug dienen zwei Kissen, welche von einer Glassäule getragen werden; das Leder der Kissen wird mit Amalgam, einer Mischung aus Zink, Zinn und Quecksilber, überzogen, so daß sich also ein schlechter Leiter, die Glasscheibe, an einem guten Leiter, der metallischen Oberfläche der Kissen, reibt. An die Kissen sind vorne Flügel von Wachstaffet, hinten aber ist an dieselben ein messingener Conductor B befestigt.

Der Hauptconductor A, welcher die Electricität des Reibers aufnimmt, besteht aus einer hohlen Kugel von Messingblech, welche von einer Glassäule getragen wird. Da nehmlich die Electricität hauptsächlich nur an der Oberfläche der Körper haftet, ohne beträchtlich in das Innere derselben einzudringen, so leistet ein hohler Conductor die nehmlichen Dienste wie ein massiver. Zur Ueberführung der Electricität aus dem Reiber in den Conductor

Digitized by Google

dienen zwei hölzerne Ringe, welche an der Innenseite mit feinen Nadelspitzen besetzt sind, die durch einen Streifen Stanniol (Zinnfolie) unter sich und mit dem messingenen Conductor leitend verbunden sind. Spitzen haben nehmlich die Eigenschaft, die Electricität begierig einzusaugen; andererseits strömen dieselben auch leicht Electricität aus, weshalb an dem Conductor selbst alle Spitzen (auch Staub und andere Unreinigkeit) auf's sorgfältigste vermieden werden müssen.

Bei der Umdrehung des Reibers, der Glasscheibe, wird dieser positiv, das Reibzeug aber negativ electrisch, nach dem schon oben ausgesprochenen Gesetze, daß von zwei an einander geriebenen Körpern immer beide electrisch werden, und zwar der eine positive, der andere negative Electricität erhält. Will man nun von dem Reiber kräftige positive Electricität erhalten, so muß die negative Electricität des Reibzeuges abgeleitet werden, was dadurch geschieht, daß man den Conductor derselben mit der Erde in leitende Verbindung bringt. Will man dagegen die negative Electricität des Reibzeuges benutzen, so läßt man den Conductor desselben isolirt und setzt dagegen den Conductor des Reibers mit der Erde in leitende Verbindung.

Versuche mit der Electrisirmaschine.

Von den mannigfaltigen mit der Electrisirmaschine anzustellenden Versuchen heben wir folgende hervor:

Nähert man der umgedrehten Scheibe das Gesicht oder die Rückseite der Hand, so hat man ein Gefühl wie von Spinnweben. Bei hinreichender Annäherung des Fingers an verschiedenen Stellen der Scheibe bekommt man einzelne Funken.

Weit längere Funken, als dem Reiber lassen sich dem Conductor entziehen, weil nehmlich jener die Electricität nur von der einzelnen Stelle, dieser dagegen von der ganzen Oberfläche abgiebt. Bei guten Maschinen erreichen die Funken die Länge von mehreren Zollen*). Diese Funken durchlaufen nicht eine gerade Linie, sondern ein Zickzack in ähnlicher Art wie der Blitz.

Durch die electrischen Funken lassen sich Schwefeläther, Spiritus und andere leicht brennbare Körper entzünden, ein Versuch, welcher zuerst von deutschen Physikern 1744 ausgeführt worden ist.

In der Nähe einer wirksamen Electrisirmaschine bemerkt man einen eigenthümlichen Geruch, welcher von der Bildung einer eigenthümlichen Substanz herrührt, welche den Namen Ozon erhalten hat, chemisch aber noch nicht mit Sicherheit bestimmt ist.

Bringt man an den Conductor eine Spitze an, so sieht man aus derselben im Dunkeln einen Strahlenbüschel ausströmen, welcher sich noch verlängert, wenn man in einigem Abstande die flache Hand oder einen anderen Leiter über die Spitze hält. Der Strahlenbüschel ist größer bei einer Spitze, wenn dieselbe am positiven, als wenn sie am negativen Conductor angebracht ist. — In der Nähe einer solchen Spitze bemerkt man besonders deutlich den Geruch nach Ozon.

Stellt man einen Menschen auf den Isolirtisch, einen kleinen Tisch mit gläsernen Füßen, und bringt denselben mit dem Conductor in Verbindung, so sträuben sich bei Umdrehung des Reibers die Haare am Kopfe empor; derselbe erscheint im Dunklen wie von einem Heiligenscheine umgeben; aus

*) Die Winter'schen Electrisirmaschinen geben bei einem Durchmesser der Scheibe von 3 Fuß Funken von 20 bis 22 Zoll Länge.

Digitized by Google

jedem Theile des Leibes lassen sich Funken ziehen; die aus den Fingern hervorspringenden Funken vermögen Spiritus (sicherer, wenn derselbe vorher etwas erwärmt worden ist,) zu entzünden u. dgl. m.

Endlich führen wir noch das electrische Glockenspiel, welches Fig. 158 nach einer einfachen Einrichtung darstellt, an. Dasselbe besteht aus zwei Glöckchen c und d, welche an einem messingenen Stabe ab, der von einer isolirenden Glassäule g getragen wird, aufgehängt sind, und zwar das erstere Glöckchen c vermittelst eines seidenen Fadens, das andere d vermittelst eines metallenen Kettchens. Zwischen beiden Glöckchen hängt an einem seidenen Faden ein metallenes Kügelchen k. Wenn nun der Metallstab ab mit einer thätigen Electrisirmaschine in leitende Verbindung gesetzt wird, so wird das Kügelchen k von dem Glöckchen d angezogen und nachdem es in der Berührung sich mit gleichnamiger Electricität geladen, abgestoßen und von dem Glöckchen c angezogen. Nachdem das Kügelchen dann an dieses in der Berührung seine Electricität abgegeben, wird es aufs Neue von dem Glöckchen d angezogen, und indem es so zwischen beiden Glöckchen hin und her schwingt, bewirkt es ein andauerndes Läuten derselben.

(Fig. 158.)

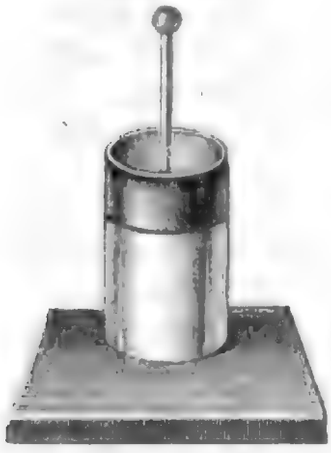
Wenn die Versuche mit der Electrisirmaschine noch heutigen Tages zu dem Ueberraschendsten und Großartigsten gehören, was die Physik überhaupt hervorzubringen vermag, so kann es uns nicht befremden, wenn wir in der Mitte des vorigen Jahrhunderts, wo diese Erscheinungen noch den vollen Reiz der Neuheit ausübten, die Physiker aufs eifrigste mit denselben beschäftigt sehen. Diese eifrige Thätigkeit führte aber sehr bald und fast gleichzeitig an zwei entlegenen Orten, zur Auffindung eines neuen Mittels, noch kräftigere Wirkungen hervorzubringen, als mit der Electrisirmaschine allein möglich war. Wir meinen die electrische Flasche. Ehe wir jedoch unseren Lesern die Geschichte dieser Erfindung vortragen, schicken wir zu besserem Verständniß Folgendes voraus:

Die electrische Flasche.

Die wesentlichen Theile einer electrischen Flasche sind das Glas und die innere und äußere Belegung desselben. Während das Glas ein schlechter Leiter der Electricität ist, müssen die Belegungen gute Leiter sein. Gewöhnlich bestehen dieselben aus einem an der Innen- und Außenseite des Glases angebrachten Ueberzuge von Stanniol (Zinnfolie). Da beide Belegungen gegen einander isolirt sein müssen, so bleibt der oberste Rand des

Digitized by Google

(Fig. 159.)



Glases, Fig. 159, in der Breite von einigen Zollen, sowohl innen, als außen, unbelegt. Zur inneren Belegung führt ein starker Drath oder ein Stab von Messing, welcher in eine Kugel endet.

Man ladet nun die Flasche, indem man die innere Belegung mit dem Conductor der Electrisirmaschine, die äußere aber mit der Erde in leitende Verbindung bringt. Die Flasche wird entladen, wenn man die innere und äußere Belegung mit einander in leitende Verbindung setzt. Will man den Entladungsschlag selbst empfinden, so nimmt man die Flasche in die eine Hand, wodurch die äußere Belegung mit der Erde in leitende Verbindung gebracht wird, hält den Knopf der inneren Belegung an den Conductor und dreht die Scheibe ein paarmal um, wodurch die Flasche geladen wird. Faßt man nun den Knopf der inneren Belegung mit der anderen Hand an, so bildet der eigene Körper eine leitende Verbindung zwischen der äußeren und inneren Belegung, und man empfindet einen mehr oder weniger heftigen Schlag.

Derjenige, welcher den electrischen Schlag zuerst empfunden und die Methode, denselben hervorzubringen, näher beschrieben hat, ist der Domherr von Kleist zu Camin in Pommern. Derselbe berichtet hierüber in einem unterm 4. November 1745 an den Dr. Lieberkühn geschriebenen Briefe, daß, wenn ein Nagel oder Drath, (um ihn zu isoliren,) in ein kleines Medizingläschen, (welches man in der Hand hält,) gesteckt und electrisirt wird, und man während des Electrisirens den Finger (der anderen Hand) an den Nagel hält, der herausfahrende Schlag so stark ist, daß Arme und Achseln davon erschüttert werden. Wenn das Gläschen nur kurz, etwa zwei Zoll lang ist, so schlage der Funke von selbst nach dem Finger (der Hand, mit welcher das Glas gehalten wird). Einigemal sei es auch geschehen, daß dünnhalsige Gläser durch den Schlag zersprengt worden. Weiter bemerkt derselbe, daß der Versuch noch besser von Statten gehe, wenn man etwas Quecksilber oder Weingeist in das Gläschen thue.

Man wird leicht bemerken, daß bei diesen Versuchen die Flüssigkeit und der Drath die innere Belegung, und die das Glas umfassende Hand die äußere Belegung bildeten. Kleist führt ausdrücklich an, daß die starke Wirkung nicht erfolgt sei, wenn er das Glas auf Holz, Metall, Glas, Siegellack u. dgl. gekittet. Er irrt freilich darin, wenn er meint, daß der menschliche Körper als solcher zum Gelingen des Versuches nothwendig sei. Vielmehr ist, wie wir oben angegeben haben, hierzu überhaupt nur erforderlich, daß die äußere Belegung mit der Erde leitend verbunden ist.

Wahrscheinlich um dieselbe Zeit und ohne hiervon benachrichtigt zu sein, hat Kunnäus, ein angesehener Privatmann zu Leyden, welcher sich mit der Wiederholung einiger Versuche, die er bei den Professoren Muschenbröck und Allemand gesehen, beschäftigte, die nehmliche Entdeckung gemacht. Er erhielt nehmlich den electrischen Schlag, als er Wasser, welches in einem Glase, daß er in der Hand hielt, befindlich war, electrisirt hatte und den Drath, welcher die Electricität hinzuleitete, mit der anderen Hand losmachen wollte. Professor Muschenbröck, welcher den Versuch wiederholte, schreibt in einem Briefe an Réaumür in Paris, daß er durch den Schlag in seinen

Digitized by Google

Armen, in den Schultern und der Brust in der Art betäubt worden sei, daß er auf einige Augenblicke den Athem verloren und sich erst nach zwei Tagen von dem Schlage und Schreck habe wieder erholen können. Ja, er setzt hinzu, daß er keinen zweiten Schlag ausstehen wollte, wenn man ihm auch das Königreich Frankreich dafür anböte.

Noch lächerlicher klingt der Bericht des Professor Winkler in Leipzig. Derselbe erzählt, daß er, als er den Leiden'schen Versuch zum ersten Male angestellt, starke Convulsionen in seinem Körper empfunden habe, und daß sein Geblüt so stark erhitzt worden sei, daß er ein hitziges Fieber befürchtet und kühlende Arzneien habe brauchen müssen.

(Fig. 160.)

So übertrieben auch diese Berichte lauten, so würde es doch sehr unbequem, ja es könnte sogar mit Gefahr verbunden sein, wollte man die Entladung größerer Flaschen (oder Batterien) immer durch den menschlichen Körper leiten. Um dieses zu vermeiden, dient der electrische Auslader, Fig. 160, welcher aus zwei starken Dräthen besteht, welche an einem Ende durch ein Charnier verbunden sind und am anderen Ende messingene Kugeln tragen. Vermittelst zweier an den Dräthen befestigter Handgriffe von Glas können die Kugeln einander beliebig genähert oder von einander entfernt werden.

Electrische Vertheilung oder Influenz.

Ehe wir unsern Lesern die mit der electrischen Flasche auszuführenden Versuche vortragen, haben wir vorher noch die Gründe zu erörtern, auf denen die Erscheinungen, welche dieselbe darbietet, beruhen. Es ergiebt sich aber die Erklärung derselben aus dem Prinzip der electrischen Vertheilung oder Influenz, welches wesentlich mit dem, was wir früher in Hinsicht der magnetischen Vertheilung kennen gelernt haben, übereinstimmt.

Die Kenntniß dieses Prinzips ist vorzüglich durch die in den Jahren 1753 bis 59 (?) von dem Engländer Canton, dem Schweden Wilke und dem Deutschen Aepinus über den electrischen Wirkungskreis oder die sogenannte electrische Atmosphäre angestellten Untersuchungen gewonnen worden. Zwar hatten die Physiker schon früher vielfach hierher gehörige Erscheinungen beobachtet; schon Gray hatte bemerkt, daß wenn er an die Fußsohlen des in härenen Schnüren hängenden Knaben die geriebene Glasröhre hielt, ein unter dem Kopfe desselben befindliches Metallblättchen zur Höhe von mehreren (8—10) Zollen empor gezogen wurde. Aehnliches war der Fall, wenn er dem breiteren Ende einer hölzernen, 27 Fuß langen und in härenen Schnüren aufgehängten Stange die geriebene Glasröhre näherte. Ein am anderen Ende der Stange, an einem etwa einen Fuß langen Bindfaden aufgehängter Kork zog ein darunter liegendes Metallblättchen einen Zoll und höher empor.

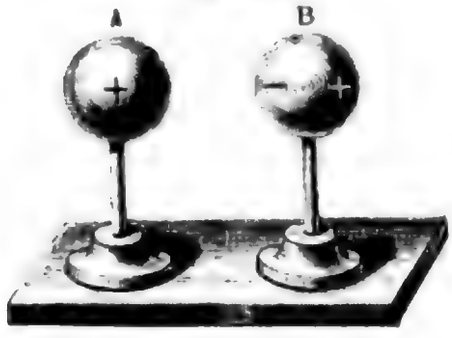
Diese und ähnliche Erscheinungen wurden jedoch von den Physikern bis zu der Mitte des vorigen Jahrhunderts und selbst von Franklin dahin gedeutet, daß die electrischen Körper von einem Dunstkreise von electrischer Materie, einer electrischen Atmosphäre, umgeben seien, und daß ein in diese Atmosphäre gebrachter Körper, in Folge hiervon, selbst electrisirt werde. Dieser Irrthum ist nun vorzüglich durch Wilke und Aepinus widerlegt worden, indem ins Besondere zuerst Wilke und weiterhin auch Aepinus mit Entschiedenheit zeigten, daß Körper, welche in die Nähe eines electrisirten

Digitized by Google

Körpers gebracht werden, an dem genäherten Ende nicht die gleiche, sondern die entgegengesetzte Electricität von der des electrisirten Körpers erhalten.

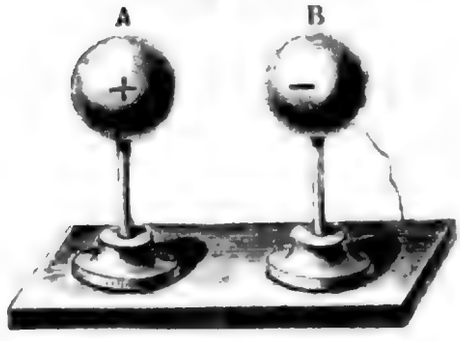
So wie ein Magnetpol nach dem, was wir oben S. 175 u. folg. vorgetragen haben, auf benachbartes Eisen vertheilend einwirkt, in dem genäherten Ende den ungleichnamigen, in dem entgegengesetzten Ende den gleichnamigen Magnetismus hervorruft, in ganz gleicher Weise wirkt auch ein electrischer Körper auf alle in seiner Nähe befindlichen guten Leiter vertheilend ein, ruft in dem genäherten Ende die entgegengesetzte, in dem abgekehrten Ende die gleiche Electricität hervor.

(Fig. 161.)



Bringen wir in die Nähe eines, z. B. positiv electrisirten Körpers A, Fig. 161, einen Leiter B, so häuft sich an der genäherten Seite negative, an der abgekehrten Seite positive Electricität an, wenn der Körper B isolirt ist. Steht dagegen der Körper B, Fig. 162, mit der Erde in leitender Verbindung, so entflieht die abgestoßene positive Electricität in den Erdboden. Werden die beiden Körper A und B einander so sehr genähert, daß die sich anziehenden Electricitäten den Leitungswiderstand der diese Körper trennenden Luftschicht zu überwinden vermögen, so vereinigen sie sich in einen Funken, indem von A nach B hin positive, von B nach A hin negative Electricität übergeht.

(Fig. 162.)



Es ist daher der electrische Funken das Product der Vereinigung der entgegengesetzten und sich in demselben ausgleichenden, gegenseitig neutralisirenden Electricitäten.

Ebenso folgt aus dem eben Gesagten, was schon Aepinus mit Klarheit ausgesprochen hat, daß es keine andere electrische Anziehung, als zwischen den entgegengesetzten Electricitäten giebt, indem jeder Körper, welcher in den Wirkungskreis eines electrisirten Körpers gebracht wird, an dem genäherten Ende sich mit der entgegengesetzten Electricität ladet; so wie wir oben gesehen haben, daß der Magnet das Eisen nur in so fern anzieht, als dasselbe in seiner Nähe selbst in einen Magneten verwandelt wird und nun die einander zugewendeten ungleichnamigen Pole beider Magnete sich gegenseitig anziehen.

Erklärung der Erscheinungen der electrischen Flasche.

Aus dem Prinzip der electrischen Influenz geht aber die Erklärung der Erscheinungen der electrischen Flasche, welche längere Zeit für die Physiker ein ungelöstes Räthsel bildeten, in der folgenden einfachen Weise hervor:

Wenn man die innere Belegung mit dem Conductor der Electrisirmaschine verbindet, so wirkt die aus diesem in die innere Belegung übergehende positive Electricität vertheilend auf die äußere Belegung und zwar um so stärker, je dünner das beide Belegungen trennende Glas ist, in einem je kleineren Abstande sich dieselben also von einander befinden, in der Art ein, daß in der mit dem Erdboden in leitender Verbindung stehenden äußeren Belegung negative Electricität angezogen wird und sich ansammelt, positive

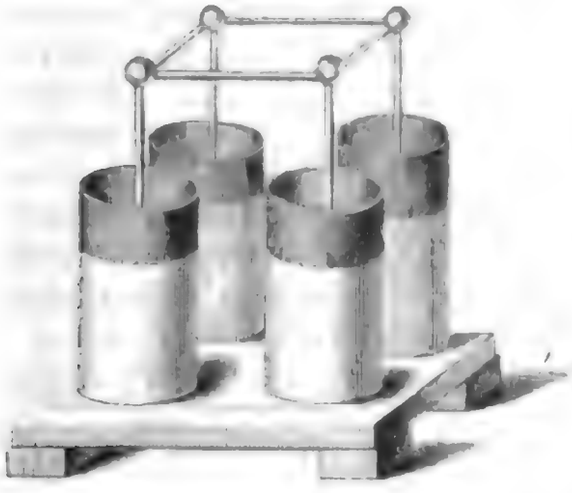
Digitized by Google

Electricität dagegen abgestoßen wird und in den Erdboden entflieht. Die angezogene negative Electricität der äußeren Belegung wirkt nun ihrerseits wieder anziehend auf die positive Electricität der inneren Belegung ein und bewirkt, daß in diese weit mehr positive Electricität aus dem Conductor übergeht, als ohne diese wechselseitige Anziehung der entgegengesetzten Electricitäten beider Belegungen der Fall sein würde.

Das dieselben trennende Glas verhindert die Vereinigung der sich anziehenden Electricitäten; diese Vereinigung erfolgt dagegen mit Heftigkeit, sobald die beiden Belegungen durch einen guten Leiter, z. B. einen Drath oder den menschlichen Körper, mit einander verbunden werden.

Die Stärke der Ladung, welche eine Flasche anzunehmen vermag, hängt, wie schon oben bemerkt, von der Dünne des Glases ab. Ist dieses jedoch allzu dünn, so kann es auch geschehen, daß bei starker Ladung, wie schon Kleist gefunden hat, die Entladung durch das Glas hindurch erfolgt, wodurch die Flasche unbrauchbar wird. Weiter vermag eine Flasche natürlich eine um so größere Ladung aufzunehmen, je größer die Oberfläche der Belegungen ist. Statt sehr große Flaschen anzuwenden, zieht man es vor, mehrere Flaschen von mäßiger Größe zu einer sogenannten Batterie, Fig. 163, zusammenzusetzen, indem man die inneren Belegungen durch messingene Dräthe oder Stäbe, die äußeren Belegungen aber dadurch in leitende Verbindung bringt, daß man die Flaschen auf ein mit Stanniol überzogenes Brett stellt.

(Fig. 163.)



Von den mannigfaltigen mit der Flasche oder Batterie anzustellenden Versuchen heben wir folgende hervor:

Versuche mit der electrischen Flasche oder Batterie.

Wenn mehrere Personen sich mit den Händen anfassen, und die äußerste Person an dem einen Ende die äußere Belegung berührt, die äußerste Person am anderen Ende der inneren Belegung der geladenen Flasche die Hand hinreichend nähert, so empfinden alle zugleich den Erschütterungsschlag.

So electrisirte z. B. bald nach der Erfindung der electrischen Flasche der Abt Nollet in Gegenwart des Königs von Frankreich 180 Gardisten.

Kleinere Thiere, selbst Hunde und Katzen, können durch den electrischen Schlag getödtet werden. Nollet ist ebenfalls der erste, welcher diesen Versuch mit einem Sperling ausführte. Der erste Schlag hatte das Thierchen nur betäubt und nach einigen Minuten hatte es sich hiervon wieder erholt; aber ein zweiter Schlag raubte ihm das Leben.

Der electrische Schlag durchläuft auch die längste Leitung anscheinend momentan. Schon Watson hat 1748 in London gefunden, daß der Entladungsschlag einer Flasche eine Drathleitung von ohngefähr einer halben geographischen Meile Länge mit unmeßbarer Geschwindigkeit durchläuft. In neuerer Zeit hat Wheatstone, der Erfinder des Zeigertelegraphen, 1835 durch ein äußerst sinnreiches Verfahren, dessen Auseinandersetzung uns jedoch

Digitized by Google

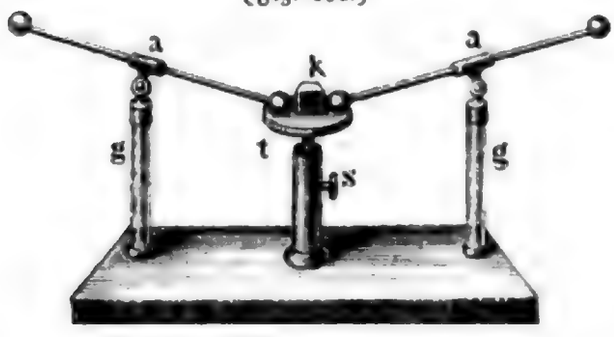
zu weit führen würde, und ebenso haben spätere Versuche an den Dräthen electrischer Telegraphenlinien gezeigt, daß die Electricität mehrere Tausend Meilen in weniger, als einer Secunde Zeit durchläuft.

Wenn man die äußere und innere Belegung einer Flasche oder Batterie durch mehrere gleich gute und gleich lange Leiter verbindet, so vertheilt sich der electrische Schlag zwischen denselben; besitzen dieselben dagegen ein ungleiches Leitungsvermögen und ungleiche Länge, so folgt die Electricität hauptsächlich dem besten und kürzesten Leiter.

Feine Metalle können durch den electrischen Entladungsschlag einer größeren Flasche oder Batterie geschmolzen werden. Wenn man einen schmalen Streifen Goldblatt oder einen sehr feinen Drath zwischen zwei Glasscheiben legt und dann einen starken Entladungsschlag einer größeren Flasche oder Batterie hindurchleitet, so wird das Metall in die Glasscheiben eingeschmolzen, welche gewöhnlich durch die Heftigkeit des Schlages zerbrochen werden.

Man bedient sich hierbei bequem des allgemeinen Ausladers von Henley. Dieser besteht aus zwei auf einem Brettchen befestigten Glassäulen gg, Fig. 164, welche zwei um ein Charnier bewegliche messingene Arme aa tragen. Zwischen denselben ist ein kleines Tischchen t angebracht, welches sich vermittelst einer Schraube s höher und niedriger stellen läßt und dem Körper k, durch welchen der Schlag geführt werden soll, zur Unterlage dient.

(Fig. 164.)



Leicht brennbare Körper können durch den electrischen Schlag entzündet werden. Will man Schießpulver entzünden, so muß man den Schlag durch Einschaltung eines weniger guten Leiters, z. B. eines angefeuchteten Bindfadens, in die Leitung verzögern; entgegengesetzten Falles wird das Pulver in der Regel nur umhergeschleudert.

Schlecht leitende Körper, durch welche der electrische Schlag hindurchgeführt wird, werden durchbohrt oder zerschmettert. Schon durch den Entladungsschlag einer kleinen Flasche läßt sich ein Kartenblatt durchbohren. Bemerkenswerth ist der Umstand, daß das hervorgebrachte Loch an beiden Seiten erhabene Ränder zeigt. Vermittelst einer größeren Batterie läßt sich auch ein dünnes Brettchen oder eine sehr dünne Glasscheibe durchbohren.

Führt man den Entladungsschlag quer neben einer Stahlnadel in einem kleinen Abstande vorbei, so wird die Nadel magnetisch. Man kann auch einen größeren Stahlstab auf diese Art magnetisiren, wenn man denselben (wegen der Isolirung) in eine Glasröhre legt, um welche ein Drath in zahlreichen Windungen herumgeführt ist, und dann einen kräftigen Entladungsschlag einer größeren Flasche oder Batterie durch den Drath hindurchgehen läßt.

Die electrische Natur des Gewitters.

Diese und ähnliche Versuche, welche fast alle Wirkungen, die durch den Blitz hervorgebracht werden, wenn auch in kleinerem Maaßstabe nachahmen, konnten schon bald nach der Erfindung der electrischen Flasche den Physikern keinen Zweifel lassen, daß das Gewitter eine electrische Erscheinung sei. Mit der größten Klarheit und Vollständigkeit aber hat Franklin die Beweise für die Richtigkeit dieser Ansicht in seinen in den Jahren 1747 bis 1754 an

Digitized by Google

Peter Collinson, Mitglied der Königlichen Gesellschaft in London, gerichteten Briefen vorgetragen. Die hauptsächlichsten dieser Gründe sind im Wesentlichen folgende:

1. Längere electrische Funken durchlaufen, so wie der Blitz, eine Zickzacklinie.

2. Spitzen ziehen die Electricität schon in größerer Ferne an sich; ebenso werden auch am häufigsten spitze Gegenstände, die Spitzen von Dächern, Thürmen, Masten, Bäumen u. dgl. vom Blitze getroffen.

3. Der Blitz folgt vorzugsweise den guten Leitern der Electricität auf seinem Wege zur Erde.

4. Schlecht leitende Substanzen, wie Holz, Mauern u. dgl., werden nicht selten vom Blitze durchbohrt oder zerschmettert.

5. Der Blitz zündet brennbare Gegenstände, und

6. er schmilzt zuweilen Metalle. Beides thut auch der electrische Funke.

7. Der Blitz tödtet Menschen und Thiere. Auch dieses läßt sich an kleineren Thieren durch den electrischen Funken nachahmen.

8. Der Blitz bringt magnetische Wirkungen hervor. Man hat häufig beobachtet, daß Geräthschaften von Stahl oder Eisen, in deren Nähe der Blitz niedergefahren war, magnetische Polarität angenommen hatten. Auf Schiffen, in welche der Blitz eingeschlagen, ist durch denselben zuweilen die magnetische Kraft der Nadel zerstört, oder die Pole derselben sind umgekehrt worden. — Aehnliche Wirkungen bringt, wie wir oben gesehen haben, auch der Entladungsschlag der electrischen Flasche oder Batterie hervor.

Zu diesen der Hauptsache nach schon von Franklin aufgeführten Gründen fügen wir noch die beiden folgenden:

9. den Geruch nach Ozon, welchen man nach starken Blitzschlägen wahrnimmt; und

10. herannahende Gewitter veranlassen an electrischen Telegraphen unregelmäßige Zeichen.

So überzeugend auch Franklins Briefe die Uebereinstimmung des Blitzes mit dem electrischen Funken darthaten, so kam es doch noch, um den Widerspruch eigensinniger Zweifler gänzlich zum Schweigen zu bringen, darauf an, die Electricität einer Gewitterwolke unmittelbar zur Erde hinzulenken und zu untersuchen.

Franklin verfertigte zu diesem Zwecke einen Drachen, Windvogel. Oben war an demselben ein zugespitzter Drath angebracht, und an dem Ende der hänfenen Schnur war ein Schlüssel befestigt; derjenige Theil der Schnur aber, welchen Franklin in der Hand hielt, war von Seide, damit die von der Spitze aufgenommene Electricität nur bis zum Schlüssel fortgeleitet werde.

Um nicht dem Hohngelächter unwissender Spötter, wenn vielleicht der Versuch nicht sofort gelingen sollte, ausgesetzt zu sein, vertraute Franklin sein Vorhaben nur seinem Sohne an. Er begab sich im Juni des Jahres 1752 in Begleitung desselben beim Herannahen eines Gewitters auf ein Feld in der Nähe von Philadelphia und ließ den Drachen steigen. Anfangs zeigte sich keine Wirkung, und da auch eine sehr viel versprechende Wolke ohne die geringste Wirkung vorüber gezogen war, fing Franklin schon an, an dem Erfolge seiner Versuche zu verzweifeln, als er bemerkte, daß einige lose Fäden an der hänfenen Schnur sich emporsträubten, gerade so, als wenn sie an dem Conductor einer Electrisirmaschine gehangen hätten. Franklin näherte jetzt dem Schlüssel den Finger und erhielt aus dem-

Digitized by Google

selben zu seiner, gewiß nicht geringen, Freude einen electrischen Funken, welchem bald noch andere folgten, besonders nachdem die Schnur durch den Regen naß geworden war.

Franklin ladete später auch mit der aus einer Gewitterwolke vermittelst des emporgestiegenen Drachens nach dem Schlüssel herabgeleiteten Electricität eine electrische Flasche, zündete Spiritus an und brachte überhaupt die bekannten electrischen Erscheinungen hervor.

Weiterhin richtete er an seinem Hause eine isolirte eiserne Stange auf, um mit Bequemlichkeit in seiner Wohnung Beobachtungen über die Luftelectricität anstellen zu können. Er brachte an dem Ende der Stange nach Art des electrischen Glockenspieles zwei Glöckchen an, welche anschlugen, wenn die Stange mit Electricität geladen war, und ihn so durch ihr Läuten aufmerksam machten.

An dergleichen isolirten eisernen Stangen haben, angeregt durch Franklins Schriften, ein Beobachter in Paris und ein anderer in dem Städtchen Marly schon im Monat Mai des Jahres 1752 beim Vorüberziehen einer Gewitterwolke electrische Erscheinungen wahrgenommen. Diese Beobachtungen sind also einen Monat früher, als Franklin seinen Drachen steigen ließ, angestellt worden. Es ist jedoch einleuchtend, daß Franklin so früh von denselben keine Nachricht haben konnte.

Von den Physikern, welche nach dieser Zeit Beobachtungen über die Luftelectricität anstellten, wurde Richmann in Petersburg ein Opfer seiner eifrigen, aber ohne die nöthigen Vorsichtsmaßregeln ausgeführten Bemühungen. Derselbe wurde am 6. August 1753 durch ein Blitzschlag getödtet, welcher an einer Drathleitung herabfuhr, die vom Dache herab sich bis zu einer im Beobachtungszimmer angebrachten eisernen Stange erstreckte. Der zugleich anwesende Maler Sokolow, welchen Richmann gewöhnlich zu seinen electrischen Beobachtungen hinzuzog, sah, wie aus der eisernen Stange ein weißlich-blauer Feuerball von der Größe einer Faust nach Richmanns Stirn fuhr, die etwa einen Fuß von der eisernen Stange abstand. — Richmann beobachtete nehmlich einen an der Stange angebrachten Electricitätszeiger, welcher aus einem an derselben befestigten Faden bestand, der sich um einen mehr oder weniger großen Winkel nach Maßgabe der electrischen Ladung von derselben entfernte. — Auch Sokolow stürzte, durch den Blitzschlag betäubt, zu Boden, erholte sich jedoch bald wieder. An Richmann dagegen konnte kein Lebenszeichen mehr wahrgenommen werden.

Die Luftelectricität.

Aus den in neuerer Zeit an verschiedenen Orten und natürlich mit größerer Vorsicht angestellten Beobachtungen hat sich ergeben, daß die Luft nicht blos zur Zeit eines Gewitters, sondern auch zu andern Zeiten, besonders auch bei völlig heiterem Himmel electrisch ist. Die Electricität ist in diesem Falle beständig positiv; bei Gewittern, überhaupt bei vorüberziehenden Wolken dagegen werden häufige Wechsel von positiver und negativer Electricität beobachtet. Nebel und Wolken sind in der Regel electrisch, am häufigsten positiv. Auch die Niederschläge aus der Atmosphäre, Regen und Schnee, besonders Hagel, sind fast immer electrisch, zuweilen in so hohem Maaße, daß die Regentropfen oder Hagelkörner, indem sie den Boden berühren, leuchten. Die Electricität der Niederschläge ist am häufigsten negativ; doch wechseln nicht selten bei dem nehmlichen Regen positive und negative Electricität miteinander ab.

Die Ursache der Luftelectricität ist bis jetzt noch nicht festgestellt. Man hat dieselbe früherhin in der Verdunstung des Wassers an der Erdoberfläche zu finden geglaubt; spätere Untersuchungen haben jedoch diese Ansicht nicht bestätigt.

Digitized by Google

Als feststehende Bedingung für die Entstehung eines Gewitters kann Wolkenbildung, also nach dem früher Vorgetragenen Vermischung warmer feuchter Luft mit kalter, angesehen werden. Je rascher diese vorschreitet, um so größer dürfte auch die Menge der in der Wolke sich sammelnden Electricität sein. Daher sind auch in unseren Gegenden die Gewitter im Sommer bei weitem häufiger, als im Winter, weil im Sommer die Luft wegen ihrer höheren Temperatur eine weit größere Dampfmenge zu fassen vermag und daher auch eine bei weitem raschere und reichlichere Condensation erfolgen kann. Nur bei heftigen Stürmen pflegt diese auch im Winter einzutreten; es sind daher die Wintergewitter gewöhnlich mit starkem Winde verbunden. Dieselben kommen überhaupt häufiger an den Küsten, als im Innern des Landes vor; denn da im Winter das Meer eine höhere Temperatur, als das feste Land besitzt, so muß die über jenem lagernde feuchte Luft, so wie sie durch Winde nach dem Festlande hingetrieben wird, sich hier abkühlen, und in Folge deren eine Condensation der Dämpfe eintreten. Ja an den steilen Küsten Norwegens, an denen die durch westliche Winde herbeigeführten Regenwolken große Wassermassen entladen, sind die Wintergewitter selbst häufiger, als die Sommergewitter. Die Gewitterwolke.

In Deutschland kommen während eines Jahres auf den nehmlichen Ort etwa 20 Gewitter; der an Gewittern reichste Monat ist in der Regel der Juli. Die meisten Gewitter bewegen sich hier von Südwest nach Nordost, so wie ja auch südwestliche Winde in Deutschland die vorherrschenden Regenwinde sind.

Daß die Gewitterwolken gegen die Winde ziehen, ist eine unverständige Behauptung. Richtig aber ist es und mit dem oben über die Bedingung der Entstehung eines Gewitters Gesagten übereinstimmend, daß bei Gewittern häufig in verschiedenen Höhen Luftströmungen von verschiedener Richtung stattfinden, und daß daher die Gewitterwolken häufig in einer ganz anderen Richtung ziehen, als dem Winde, welchen wir an der Erdoberfläche beobachten, entspricht.

Die Höhe der Gewitterwolken dürfte im Mittel 5000 bis 6000 Fuß betragen, zuweilen 1000 Fuß nicht übersteigen. Wenn Gewitterwolken sich an ein Gebirge anlehnen, so giebt die bekannte Höhe des Gebirges einen Maaßstab für die Höhe der Gewitterwolken. Nach Alex. von Humboldt kommen in der heißen Zone Amerika's in 12000 Fuß Höhe nur selten Gewitter vor.

Die mit Electricität geschwängerte Gewitterwolke entladet sich theils nach benachbarten Wolken, theils nach der unter ihr befindlichen Erdoberfläche. Die bei weitem größere Zahl der Blitze geht jedoch von einer Wolke zur anderen über; die zur Erde gehenden Blitze, die sogenannten einschlagenden Blitze, machen sich, wenn sie in der Nähe niederfahren, durch das eigenthümliche Prasseln des dieselben begleitenden Donners kenntlich. Der Blitz.

Nehmen wir an, daß die Gewitterwolke mit positiver Electricität geladen ist, so wird derjenige Theil der Oberfläche der Erde, über welchem dieselbe schwebt, nach dem Prinzip der electrischen Influenz mit negativer Electricität geladen. Vorzugsweise gilt dieß von dem feuchten, also besser leitenden Erdreiche, welches immer in mehr oder minder großer Tiefe angetroffen wird. Diese sich anziehenden entgegengesetzten Electricitäten der Gewitterwolke und des feuchten Erdreichs vereinigen sich in einem Blitzschlage, wenn ihre gegenseitige Anziehung stark genug ist, den Leitungswiderstand der dieselben tren-

Digitized by Google

nenden Luftschicht zu überwinden. Die Entladung, das sogenannte Einschlagen des Blitzes, wird daher um so eher stattfinden können, je stärker die Wolke geladen ist, je niedriger dieselbe schwebt, je höhere und spitzere Gegenstände derselben von der Erde her entgegen ragen. Es wird dasselbe ferner durch niederfallenden Regen begünstigt werden, da dieser das Leitungsvermögen der Luft verbessert, obschon andererseits auch anhaltender Regen, da er die Electricität der Gewitterwolken nach der Erde allmählig ableitet, eine beträchtliche Ansammlung der Electricität in den Wolken überhaupt und folglich auch den Ausbruch derselben in einem Blitzschlage gänzlich verhindern kann

Da selbst die feuchte Luft doch nur ein schlechter Leiter ist, so sucht sich der Blitz den Sprung durch die Luft möglichst zu verkürzen; er trifft daher vorzüglich die höchsten, als die der darüber schwebenden Gewitterwolke nächsten Gegenstände. Auch seinen weiteren Weg zur Erde nimmt er fast immer an festen Körpern hin und macht nur in seltenen Fällen einen kurzen Sprung durch die Luft, besonders dann, wenn er so auf einem bedeutend kürzeren Wege zu guten Leitern gelangt, welche ihn nach seinem Ziele, dem feuchten Erdreiche, hinführen. Nicht sowohl die guten Leiter an sich, als vielmehr diejenigen, welche diesem Zwecke dienen, und in so weit sie dieß thun, wirken anziehend auf den Blitz.

Erwägen wir überhaupt, daß der Blitz die Ausgleichung der sich wechselseitig anziehenden entgegengesetzten Electricitäten der Gewitterwolken und des feuchten Erdreichs ist, so erklärt sich hieraus sofort, warum der Blitz auf seinem Wege zur Erde vorzugsweise den besseren Leitern der Electricität folgt, oder genauer ausgedrückt, allemal denjenigen Weg wählt, auf welchem die Summe der Leitungswiderstände von derjenigen Stelle, welche er zuerst getroffen, bis zu dem feuchten Erdreiche am kleinsten ist.

Von den Wirkungen, welche der Blitz auf die Körper, an denen er niederfährt, hervorbringt, ist zum Theile schon oben die Rede gewesen. Wir fügen noch hinzu, daß an guten Leitern, ins Besondere an Metallen von hinreichend großem Querdurchschnitte, der Blitz in der Regel, ohne eine Spur seines Weges zu hinterlassen, niederfährt. Der Außerachtlassung dieses Umstandes dürften vorzugsweise die unsinnigen Berichte, welche man nicht selten in Zeitungen über die Bahn des Blitzes zu lesen bekommt, zuzuschreiben sein*). Ist dagegen der Blitz gezwungen, seinen Weg über schlecht leitende Substanzen zu nehmen, so bezeichnet er denselben gewöhnlich durch Beschädigungen und Zerschmetterungen sehr deutlich; ebenso werden brennbare Stoffe häufig, aber nicht immer entzündet. Aehnliches galt ja auch von dem electrischen Funken, selbst in Hinsicht des so leicht zündlichen Schießpulvers.

Hat der Blitz das feuchte Erdreich erreicht, so ist jede Spur desselben verschwunden, wenn er auch vielleicht kurz vorher noch seine Bahn durch die stärksten Verwüstungen bezeichnet hat.

Wenn der Blitz in sehr trockenen Sand einschlägt, so geschieht es wohl, daß die Sandkörner geschmolzen werden und zu einer dünnen, aber oft viele Fuß langen Röhre zusammenbacken. Es führen diese Röhren, welche zuerst im Jahre 1805 in den Sandhügeln der Senner Haide in Westphalen,

*) Ueberhaupt werden über Blitzschläge oft die sonderbarsten Dinge erzählt, welche zum Theile von der Befangenheit der Beobachter, zum Theile von gewissen im Volke verbreiteten Sagen herrühren. Wir erinnern in dieser Hinsicht an die Donnerkeile, den kalten Schlag u. dgl. m.

Digitized by Google

später aber auch in vielen anderen Gegenden aufgefunden worden sind, den Namen Blitzröhren.

Der Blitzableiter.

Da der Blitz an guten Leitern von hinreichender Stärke, ohne dieselben zu verletzen, herabgeht, so können Gebäude gegen Beschädigung durch den Blitz durch den zuerst von Franklin angegebenen Blitzableiter geschützt werden. Nach der gewöhnlichen Einrichtung hat man an demselben zwei Theile, die Auffangestange und die Ableitungsstange, zu unterscheiden. Beide sind starke Stangen von Eisen. Die erstere ragt mehrere Fuß über die höchsten Punkte des Gebäudes hervor und endet in einer Spitze, welche zur Abhaltung des Rostes vergoldet oder verplatinirt ist. Längere Gebäude bedürfen mehrere Auffangestangen. Man nimmt an, daß die Auffangestangen auf einen Umkreis, dessen Radius der anderthalb- bis zweifachen Höhe, um welche die Spitze der Auffangestange die höchsten Punkte des Gebäudes überragt, gleich ist, Schutz gewährt. Die mit der Auffangestange verbundene Ableitungsstange läuft zunächst über den ganzen First des Daches und von da hinab in die Erde bis zu einer solchen Tiefe, in welcher auch im trocknensten Sommer noch Feuchtigkeit angetroffen wird.

Das St. Elmsfeuer.

Zu den auf der Luftelectricität beruhenden Erscheinungen gehören auch das sogenannte St. Elmsfeuer und das Nordlicht. Unter dem ersteren versteht man die Erscheinungen, daß bei hohen Graden der Luftelectricität des Nachts sich an hervorragenden Spitzen, an den Spitzen der Thürme, der Masten, der Bäume, ja selbst an den Ohren und Mähnen der Pferde kleine Flämmchen zeigen. Diese Erscheinung wird häufiger bei Winter-, als bei Sommergewittern wahrgenommen, weil bei ersteren die Wolken niedriger schweben.

Vielleicht dürften die noch nicht mit hinreichender Genauigkeit und Sicherheit beobachteten Irrlichter zuweilen einen ähnlichen Ursprung haben.

Das Nordlicht.

Das Nordlicht zeigt sich am prachtvollsten in den langen Winternächten der Polargegenden und tritt gleichsam an die Stelle der in diesen Gegenden fehlenden oder höchst seltenen Gewitter. Dasselbe erscheint hier, als ein hellleuchtender, ein dunkleres Segment umschließender Bogen, dessen Mittelpunkt ohngefähr in der Richtung des magnetischen Nordpoles liegt. Von diesem Bogen aus gehen von Zeit zu Zeit Lichtbüschel aus, welche sich nach verschiedenen Richtungen und bis über das Zenith hinaus erstrecken. Die Farbe der Strahlen ist gewöhnlich roth oder gelb.

Auf der südlichen Erdhälfte zeigen sich in ähnlicher Art Südlichter.

Daß das Nordlicht eine electrische Erscheinung ist, geht theils daraus hervor, daß es die Magnetnadel afficirt und sein Mittelpunkt in die Richtung des magnetischen Meridianes fällt. Auch hat die ganze Erscheinung mit dem Lichtschein ausströmender Electricität im Dunkeln die größte Aehnlichkeit.

Nachdem wir uns längere Zeit mit den Erscheinungen der atmosphärischen Electricität und der Zurückführung dieser Erscheinungen auf die theoretischen Sätze der Electricitätslehre beschäftigt haben, führen wir nun diese selbst weiter, indem wir auch jetzt, so wie in dem Vorhergehenden, dem historischen Entwicklungsgange dieses Zweiges der Physik folgen.

Unsere Leser erinnern sich hoffentlich noch, wie die zwischen den Jahren 1750 und 1760 von Canton, Wilke und Aepinus angestellten Untersuchungen zur Erkenntniß des Prinzips der Influenz geführt haben, und wie sich aus diesen sehr einfach die durch die Flasche bewirkte Verstärkung, die Methode ihrer Ladung und Entladung erklärte.

Digitized by Google

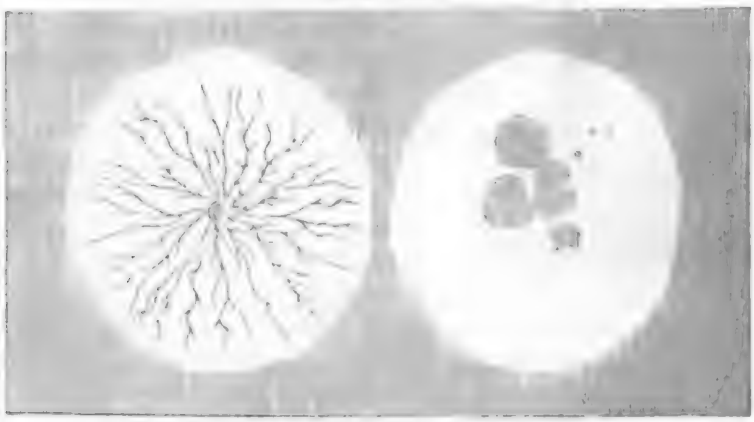
Ehe wir unsern Lesern einen anderen von Volta erfundenen, ebenfalls sehr wichtigen und auf dem nehmlichen Prinzipe beruhenden Apparat vorführen, wollen wir denselben noch vorher eine Frage beantworten, welche sich ihnen vielleicht schon längst bei der Lectüre des Vorhergehenden aufgedrängt haben dürfte. Wir haben so oft von zwei verschiedenen Electricitäten, positiver und negativer Electricität, gehandelt, welche sich gegenseitig anziehen, während positive und positive, negative und negative Electricität sich abstoßen, woraus sich uns ein Mittel zur Unterscheidung derselben ergab. Es fragt sich nun, ob zwischen denselben nicht noch ein anderer specifischer Unterschied stattfindet, ob nicht einer jeden derselben eigenthümliche Eigenschaften zukommen, welche der anderen abgehen?

Wenn wir hierauf antworten, daß fast in allen Fällen — mit ganz wenigen Ausnahmen — beide Electricitäten in ihren Wirkungen übereinstimmen, so wird dieß unsern Lesern um so weniger befremden können, wenn sich dieselben erinnern, daß niemals eine Electricität allein, sondern immer beide zugleich auftreten, daß die in einem Körper angehäufte positive oder negative Electricität in den umgebenden Körpern an der zugewendeten Seite zugleich die entgegengesetzte Electricität hervorruft, und daß der electrische Funke durch die Vereinigung beider entgegengesetzten Electricitäten entsteht. Wie gesagt, man kennt nur wenig Fälle, in denen sich in der Wirkungsweise beider Electricitäten eine Verschiedenheit zeigt. Einen solchen Fall haben wir bereits oben angeführt, nehmlich bei der Ausstrahlung aus Spitzen in atmosphärischer Luft zeigt sich am positiven Conductor ein weit größerer Strahlenbüschel, als am negativen.

Die Lichtenbergischen Figuren.

Eine andere Verschiedenheit bieten die sogenannten electrischen Figuren, welche zuerst Lichtenberg in Göttingen 1777 dargestellt hat. Man erhält dieselben am einfachsten, wenn man eine electrische Flasche einmal mit positiver, das andere Mal mit negativer Electricität ladet und dann den Knopf der inneren Belegung mit einem Harzkuchen oder mit einer Platte, welche man mit geschmolzenem Pech überzogen hat, in Berührung bringt. Ueberpudert man nun diese Stellen mit Hexenmehl (semen lycopodii), so bildet sich an der positiv-electrisirten Stelle eine sternförmige, an der negativ-electrisirten Stelle eine mehr rundliche Figur, in der Art, wie dies Fig. 165 zeigt.

(Fig. 165.)



Der Condensator.

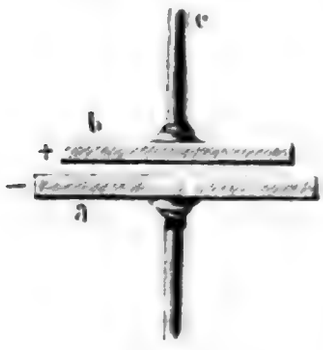
Während durch die electrische Flasche die kräftige Electricität, welche die Electrisirmaschine liefert, noch um ein Beträchtliches verstärkt wird, leistet

Digitized by Google

der von Volta im Jahre 1782 erfundene Condensator das Nehmliche für sehr schwache Electricitäten und bildet so für den Physiker eine höchst wichtige Vorrichtung, welche denselben in den Stand setzt, das Vorhandensein von schwachen Electricitäten aufzufinden oder nachzuweisen, welche sich ohne dieß der Wahrnehmung gänzlich entziehen würden.

Der Condensator besteht am einfachsten aus zwei Metallplatten, a und b, Fig. 166, welche an den einander zugewendeten Seiten mit einer dünnen Firnißschicht überzogen und so gegeneinander isolirt sind. Die obere Platte b, welche Collectorplatte genannt wird, ist mit einem isolirenden Handgriffe c versehen, die untere Platte a, die Condensatorplatte, steht mit der Erde in leitender Verbindung. Wenn nun die Collectorplatte b mit einem schwach, z. B. positiv electrisirten Körper berührt wird, so zieht die in diese Platte übergehende positive Electricität in der Condensatorplatte a negative Electricität an, welche ihrerseits wieder anziehend auf die positive Electricität der Collectorplatte wirkt. In Folge hiervon geht aus dem mit der Collectorplatte in Berührung gebrachten, positiv electrisirten Körper weit mehr Electricität über, als ohne dieß der Fall gewesen sein würde. Die so geladene Collectorplatte wird dann von der Condensatorplatte abgehoben, wodurch die in dieselbe übergegangene und bis dahin von der entgegengesetzten Electricität der Condensatorplatte angezogene und gebundene Electricität frei wird und sich nun an einem geeigneten Electroscope nachweisen läßt.

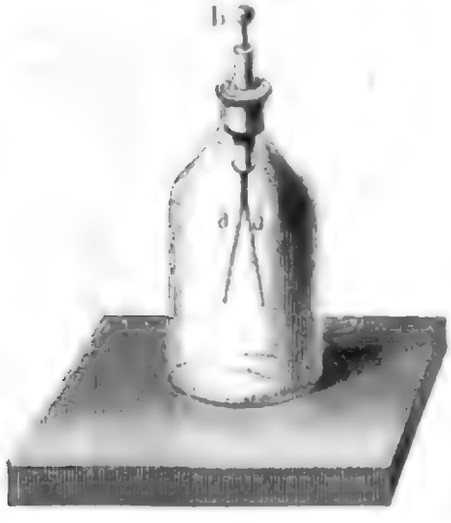
(Fig. 166.)



Ein sehr empfindliches Electroscop ist von Bennet 1787 angegeben worden. Dasselbe besteht aus zwei Goldblättchen — Volta selbst wendete zu gleichem Zwecke zwei Strohhälmchen an — welche innerhalb eines Glases an dem unteren Ende eines metallenen Stäbchens befestigt sind, dessen oberes, außerhalb des Glases befindliches Ende eine metallene Kugel b oder Platte trägt, Fig. 167. Bei Annäherung eines electrischen Körpers an die Kugel oder Platte wird aus dieser die gleichnamige Electricität nach den Blättchen aa hin abgestoßen, und in Folge hiervon werden diese selbst auseinander getrieben.

Electroscop.

(Fig. 167.)



Den höchst nützlichen Gebrauch, welchen Volta von dem durch ihn erfundenen Condensator gemacht hat, die wichtigen Entdeckungen, welche wir demselben verdanken, werden wir sogleich kennen lernen. Wir schalten nur noch ein, ehe wir in dieses neue Gebiet eintreten, daß um das eben angeführte Jahr 1787 ein französischer Physiker Coulomb sehr genaue Abmessung der electrischen Kräfte ausgeführt und unter anderen gezeigt hat, daß auch für die electrische Anziehung und Abstoßung das nehmliche Gesetz wie für alle anderen Naturkräfte, welche wir kennen gelernt haben, gilt,

Gesetz der electrischen Anziehung.

Digitized by Google

nehmlich daß dieselben abnehmen umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung wächst, also in der doppelten, dreifachen Entfernung u. s. w. auf den vierten, neunten Theil u. s. w. herabgeht.

Galvani's Entdeckung.

Die erste der Entdeckungen, durch welche sich für die Electricitätslehre ein ganz neues Feld eröffnete, welches bis auf unsere Tage durch neue Entdeckungen sich noch fortwährend erweitert, ist im Jahre 1786 durch Galvani, Professor der Anatomie zu Bologna, gemacht worden. Eines Abends lagen in einem Zimmer desselben, in welchem sich eine Electrisirmaschine befand, auf einem Tische enthäutete Frösche, welche zu einer Brühe für Galvani's erkrankte Frau bestimmt waren. Als aus dem Conductor der Maschine Funken gezogen wurden, während zufällig ein Gehülfe den Cruralnerv eines dieser Frösche mit einem Messer berührte, geriethen die Schenkelmuskeln desselben in eine heftige Zuckung, was sich leicht aus dem Prinzipe der electrischen Influenz, welches wir oben kennen gelernt haben, erklärt. Galvani, welcher, als die Erscheinung zuerst beobachtet wurde, in dem Zimmer nicht anwesend war, auf dieselbe aufmerksam gemacht, suchte die Erscheinung weiter zu verfolgen und hing in der Absicht, den Einfluß der Luftelectricität auf präparirte Froschschenkel zu beobachten, dieselben im Freien an einem eisernen Gitter auf. Als hierbei die durch das Rückenmark des Thieres gesteckten kupfernen Dräthe und die Schenkel selbst zugleich mit dem eisernen Geländer in Berührung kamen, geriethen dieselben in eine lebhafte Zuckung.

Galvani, welcher diese höchst auffallende Erscheinung noch weiter studirte, suchte dieselbe als die Wirkung einer besonderen thierischen Electricität zu erklären. Volta, Professor der Physik zu Padua, zeigte dagegen, daß, so oft zwei verschiedenartige Metalle, bei den eben beschriebenen Beobachtungen Galvani's, Kupfer und Eisen, mit einander in Berührung kommen, sich dieselben gegenseitig electrisch erregen, das eine sich mit positiver und das andere mit negativer Electricität ladet, und erklärte die Zuckung des Froschschenkels als eine Folge der sich durch diesen entladenden entgegengesetzten Electricitäten der sich berührenden Metalle. Da diese Electricitäten jedoch äußerst schwach sind, so vermochte Volta dieselben nur mit Hülfe des von ihm erfundenen Condensators nachzuweisen.

Die in neuerer Zeit besonders von du Bois-Reymond in weitester Ausdehnung angestellten Untersuchungen haben nun zwar Galvani's Ansicht von einer thierischen Electricität in so fern bestätigt, als wirklich durch den Lebensprozeß electrische Ströme hervorgerufen werden, und auch wenn der entblößte Nerv und Muskel eines Froschschenkels, wie schon Galvani beobachtet hatte, nicht mit verschiedenen, sondern mit dem nehmlichen Metalle zugleich berührt werden, eine Zuckung eintritt. Als ein weit kräftigeres Agens ist jedoch die durch die Berührung der verschiedenartigen Metalle hervorgerufene electrische Erregung anzusehen.

Die stärkste Wirkung geben unter den bekannteren Metallen Zink und Platin, demnächst Zink und Gold; etwas schwächer zeigt sich Zink in der Verbindung mit Silber, noch schwächer mit Kupfer. Man wendet jedoch diese Combination: Zink und Kupfer besonders häufig an, weil das Kupfer so vielmal wohlfeiler ist, als die edleren Metalle Platin, Gold oder Silber, und ebenfalls noch recht kräftige Wirkungen liefert. Andere unedle Metalle, wie Eisen, Blei oder Zinn, stehen, wenn sie statt des Zinks mit einem edleren Metalle, wie Platin, Gold, Silber oder Kupfer verbunden werden, dem Zink in der Stärke der Wirkungen nach. Sehr kräftige Wirkungen

Digitized by Google

werden auch noch durch die Verbindung von Zink und Kohle hervorgebracht, wovon wir weiter unten ausführlicher handeln werden.

Wenn man mehrere Metalle mit einander in Berührung bringt, z. B. Platten von Gold, Silber, Platin, Kupfer und Zink übereinander schichtet, so ist der Erfolg ganz derselbe, als wenn die erste und letzte Platte, also in dem angeführten Falle, Gold und Zink, sich unmittelbar berührten. Die electrische Erregung ist daher die nehmliche, wenn zwei Metalle in unmittelbare Berührung gebracht, oder wenn dieselben durch ein drittes Metall z. B. durch einen Drath in leitende Verbindung gesetzt werden. Wesentlich ist jedoch, daß zwischen den verbundenen Metallen wirklich electrische Berührung stattfindet, die sich berührenden Flächen von jeder Verunreinigung frei sind.

Die Volta'sche Säule.

Wie schon bemerkt, wird die Wirkung nicht verstärkt, wenn mehrere Metallplatten über einander geschichtet werden. Dem Scharfsinn Volta's verdanken wir jedoch die Auffindung des geeigneten Mittels, durch Vervielfältigung der Platten verstärkte Wirkungen hervorzurufen. Dieses Mittel besteht in der Einschaltung eines feuchten Leiters, welcher zwischen die festen Leiter gebracht wird. Volta gelangte auf diese Art zuerst gegen das Ende des Jahres 1799 zur Construction der nach ihm benannten Säule, welche seinen Namen in der Geschichte der Wissenschaft unsterblich gemacht hat.

(Fig. 168.)

Bei den eigentlichen Volta'schen Säulen, nach der ursprünglichen Construction, Fig. 168, wendet man als feuchten Zwischenleiter Papp- oder Tuchscheiben an, welche man mit einer verdünnten Salzlösung oder Säure tränkt. Man schichtet dann die Zink- und Kupferplatten, welche etwa 2 bis 4 Zoll Durchmesser haben, und die angefeuchteten Papp- oder Tuchscheiben in der Folge

Zink, Feuchtigkeit, Kupfer, Zink, Feuchtigkeit, Kupfer u. s. f.,

oder in der umgekehrten Folge

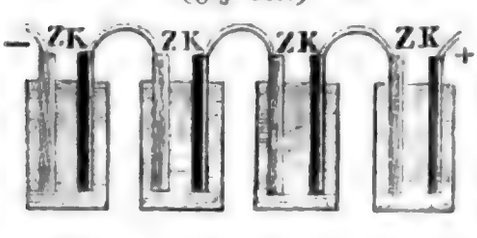
Kupfer, Feuchtigkeit, Zink, Kupfer, Feuchtigkeit, Zink u. s. f.,

bis zu 50 und 100 Plattenpaaren über einander. Will man noch mehr Platten verbinden, so richtet man mehrere Säulen auf und bringt die oberste Platte der ersten Säule mit der untersten Platte der zweiten durch einen Drath in leitende Verbindung u. s. w.

Galvani'sche Kette und Batterie.

Die einfachste Combination, bestehend aus einer Zink- und Kupferplatte und einem beide trennenden feuchten Leiter, nennt man eine einfache galvanische Kette, im Gegensatze zu der eben beschriebenen Säule oder zusammengesetzten Kette. Statt des Kupfers wird in derselben, wie schon oben angeführt, noch zweckmäßiger Platin oder Kohle angewendet, und statt die Platten durch zwischengelegte Papp- oder Tuchscheiben zu trennen, kann man dieselben auch in mit verdünnter Säure oder Salzlösung gefüllte Gefäße tauchen. Sollen mehrere einfache Ketten mit einander zur Säule oder Batterie vereinigt werden, so verbindet man die Kupferplatte der ersten Zelle mit der Zinkplatte der zweiten, die Kupferplatte der zweiten

(Fig. 169.)



Digitized by Google

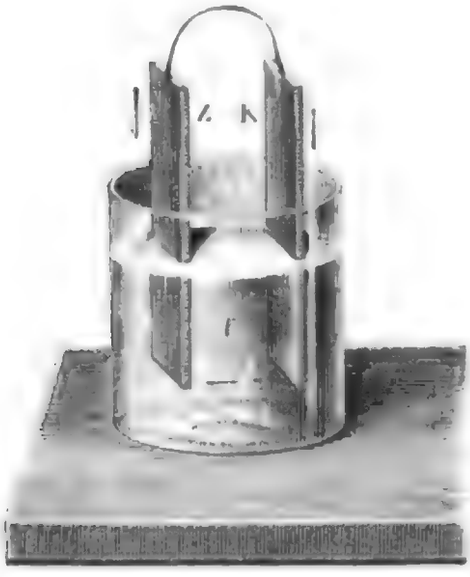
Zelle mit der Zinkplatte der dritten Zelle u. s. w., wie dieß Fig. 169 schematisch darstellt.

Bei den Zink-Kohlen- oder Zink-Platin-Ketten wendet man gewöhnlich zwei Säuren, nehmlich Salpeter- und Schwefelsäure an, welche durch eine Scheidewand von porösem Thone getrennt sind, welche, ohne die Communication der beiden Flüssigkeiten ganz aufzuheben, doch das Zusammenfließen derselben verhindert. Diese Ketten haben vor den Ketten mit nur einfacher Flüssigkeit den Vorzug größerer Beständigkeit in den Wirkungen und werden daher zum Unterschiede von denselben *constante Ketten* genannt. Ausführlicher wird von den constanten Ketten in dem Abschnitte über electrische Telegraphie die Rede sein.

Die geschlossene oder geöffnete Kette.

An jeder galvanischen Kette haben wir zwei wesentlich verschiedene Zustände zu unterscheiden. Dieselbe kann nehmlich entweder *geöffnet* oder *geschlossen* sein. Die Kette heißt *geöffnet*, wenn die beiden festen Leiter, als welche wir Zink und Kupfer annehmen wollen, nur mit dem flüssigen Leiter in Berührung sind, aber sich selbst an keiner Stelle berühren und auch durch keinen festen Leiter mit einander verbunden sind. Die Kette heißt dagegen *geschlossen*, wenn auch die beiden festen Leiter, Zink und Kupfer, entweder unmittelbar oder mittelbar, z. B. durch einen Drath mit einander leitend verbunden sind. Fig. 170 stellt eine geschlossene galvanische Kette dar. — In der zusammengesetzten Kette oder Batterie steht zu Folge der obigen Beschreibung (S. oben Fig. 169) immer in je zwei aufeinander folgenden Zellen die Zinkplatte der einen mit der Kupferplatte der andern in leitender Verbindung. Nur von den beiden äußersten Zellen enthält die eine eine unverbundene Zink-, die andere eine unverbundene Kupferplatte. Die Batterie heißt nun *geschlossen* oder *geöffnet*, je nachdem diese beiden Platten, welche man die *Polplatten* nennt, (nicht blos durch die Batterie selbst, sondern noch anderweitig, z. B. durch einen Drath) mit einander leitend verbunden sind oder nicht.

(Fig. 170.)



An der geöffneten Kette oder Batterie zeigt die unverbundene Kupferplatte freie positive und die unverbundene Zinkplatte freie negative Electricität. Diese Electricitäten sind unter übrigens gleichen Umständen um so stärker, je größer die Zahl der die Batterie zusammensetzenden Elemente ist. Aber auch bei einer aus 50 und mehr Zinkkupferelementen bestehenden und gehörig isolirten Säule sind dieselben doch immer noch so schwach, daß es, um dieselben nachzuweisen, eines empfindlichen Electroscopes bedarf. — Die Intensität dieser Electricitäten nimmt überdieß von den Polen gegen die Mitte hin bis zum gänzlichen Verschwinden ab, so daß also die geöffnete und gehörig isolirte Säule die größte Aehnlichkeit mit einem Magneten darbietet.

Der galvanische Strom.

Werden die Pole der (einfachen oder zusammengesetzten) Kette mit einander leitend verbunden, so gleichen sich die entgegengesetzten Electricitäten gegenseitig aus; indem aber wegen der fortdauernden Berührung der die Kette

Digitized by Google

zusammensetzenden festen und flüssigen Leiter und der aus dieser Berührung hervorgehenden electrischen Erregung sich die Polplatten immer wieder aufs Neue laden und entladen, findet von dem Kupferpole nach dem Zinkpole hin durch den beide verbindenden Leiter eine beständige Strömung der positiven Electricität und ebenso eine fortwährende Strömung der negativen Electricität von dem Zinkpole zum Kupferpole statt, während natürlich durch die Batterie selbst der positive Strom vom Zink zum Kupfer, der negative vom Kupfer zum Zink geht.

Wenn die äußere und innere Belegung einer electrischen Flasche, von welcher wir annehmen wollen, daß die innere Belegung derselben mit positiver, die äußere mit negativer Electricität geladen ist, mit einander leitend verbunden werden, so geht im Moment der Entladung durch den beide Belegungen verbindenden Leiter ebenfalls ein doppelter electrischer Strom, eine Strömung von positiver Electricität von der inneren nach der äußeren und eine Strömung von negativer Electricität von der äußeren nach der inneren Belegung. Dieser also zweifache Entladungsstrom der electrischen Flasche unterscheidet sich jedoch von dem electrischen Strome der galvanischen Kette einerseits durch seine unvergleichlich größere Heftigkeit, andererseits aber auch durch seine kurze, nur auf einen Moment beschränkte Dauer, während der so vielmal schwächere Strom der galvanischen Kette nicht blos auf den Moment der Schließung beschränkt ist, sondern so lange fortdauert, als die Kette geschlossen und überhaupt in Thätigkeit ist. — Vergleichen wir den Entladungsschlag einer electrischen Flasche in der Heftigkeit seiner Wirkungen mit der Explosion einer Pulvermasse, so wird sich uns die Strömung eines fließenden Wassers als ein passendes Bild für die durch den Schließungsbogen einer galvanischen Kette sich bewegenden Electricitäten darbieten. Während die explodirende Pulvermasse nur plötzlich vorübergehend und zerstörend wirkt, werden durch den Wasserfluß die Räder an Mühlen und anderen Maschinen in regelrechtem Umlauf unterhalten. Ebenso findet auch die galvanische Electricität wegen ihrer andauernden und regelmäßigen Wirkung vorzugsweise und fast ausschließlich Anwendung in den Gewerben und Künsten.

Indem, wie oben bemerkt, die galvanische Electricität selbst bei Batterieen, welche aus zahlreichen Elementen bestehen, verglichen mit der durch Reibung erregten Electricität, nur eine geringe Intensität besitzt, entspringt hieraus der Vortheil, daß sie sich bei weitem leichter isoliren läßt, als diese. Alle Isolirung beruht ja auf dem Widerstande, welchen schlechte Leiter der Fortleitung der Electricität entgegensetzen. Eine je höhere Intensität aber die zu isolirende Electricität besitzt, um so leichter wird sie diesen Leitungswiderstand überwinden, und um so schwieriger wird sich dieselbe folglich hinreichend isoliren lassen. Eben vermöge ihrer geringen Intensität wird es möglich, die galvanische Electricität durch Telegraphendräthe, welche durch kleine von hölzernen Stangen getragene Glassäulchen isolirt sind, Hunderte von Meilen fortzuleiten.

Indem wir nach dieser Charakterisirung des galvanischen Stromes zu den Wirkungen desselben übergehen, theilen wir dieselben in vier Hauptgruppen. Wir unterscheiden nehmlich physiologische, thermische, chemische und magnetische Wirkungen des Stromes und behandeln zuerst

a) die physiologischen, so wie wir ja auch denselben die erste Entdeckung dieser Art der Electricitätserregung durch Galvani verdanken. Unter den besonders leicht zu beobachtenden Einwirkungen des galvanischen Stromes auf unsere eigenen Sinne führen wir folgende an:

Physiologische Wirkungen des galvanischen Stromes.

Digitized by Google

Wenn man einen silbernen Löffel mit dem Zahnfleisch oder den Lippen und einen zinnernen Löffel oder noch besser einen Streifen Zink mit der obern Fläche der Zunge gegen die Spitze hin und beide Metalle mit einander in Berührung bringt, so empfindet man einen säuerlichen Geschmack; kehrt man die Anordnung der Metalle um, so entsteht ein laugenartiger Geschmack. Bringt man das eine Metall mit dem Augapfel und das andere mit den Lippen oder der Zunge in Berührung, so nimmt man in dem Augenblicke, in welchem die Metalle mit einander in Berührung gebracht werden, also die Kette geschlossen wird, einen Lichtstrahl wahr; derselbe erscheint abermals beim Oeffnen der Kette.

Die nehmlichen Erscheinungen, aber in verstärktem Maaße, rufen die Polplatten einer aus 5 oder 10 Elementen bestehenden galvanischen Batterie hervor; — bei einer aus zahlreichen Elementen zusammengesetzten Kette würden die Wirkungen allzu heftig sein. — Faßt man bei einer solchen die an den Polplatten befestigten Dräthe mit den angefeuchteten Händen an, so empfindet man eine Erschütterung. Bleibt man mit den Poldräthen in fester Berührung, so hört die Empfindung fast gänzlich auf, und man hat nur an etwa verwundeten Stellen der Haut ein stechendes Gefühl. Die Erschütterung aber kehrt wieder, wenn die Kette geöffnet wird. Faßt man den einen Poldrath mit der angefeuchteten Hand an, und bringt man den andern mit der angefeuchteten Stirn oder Wange in Berührung, so bemerkt man einen starken Lichtschein.

Als die zweite Gruppe der durch den galvanischen Strom hervorgerufenen Wirkungen führen wir an

Thermische Wirkungen des galvanischen Stromes.

b) die Erregung von Licht und Wärme.

Wenn man die Poldräthe einer wirksamen Kette mit einander in Berührung bringt, so bemerkt man einen mehr oder weniger lebhaften Funken. Derselbe erscheint wieder beim Oeffnen der Kette. Läßt man den electrischen Strom zwischen zwei Kohlenspitzen übergehen, welche man einander bis auf einen kleinen Abstand genähert hat, so zeigt sich bei einer kräftigen Batterie ein äußerst glänzendes Licht, welches an Intensität das Drummond'sche Kalklicht noch übertrifft. Man hat dieses höchst intensive Licht in Paris während nächtlicher Bauten zur Beleuchtung der Straßen benutzt. Der allgemeinen Anwendung desselben steht jedoch außer der Kostspieligkeit noch der Umstand entgegen, daß die Kohlenspitzen sich allmählig verzehren und es daher, wenn das Licht eine längere Zeit anhalten soll, einer fortwährenden Regulirung bedarf. Mit Vortheil kann dasselbe dagegen benutzt werden, das Drummond'sche Kalklicht bei dem Knallgasmikroscope zu ersetzen.

Wenn man einen starken electrischen Strom durch einen dünnen Drath leitet, so erhitzt sich derselbe bis zum Glühen oder Schmelzen. Man macht hiervon sehr nützlichen Gebrauch, um Pulverminen zu entzünden. Man bringt nehmlich in die zu entzündende Patrone einen dünnen Drath und verbindet die Enden desselben durch zwei stärkere Dräthe mit den Polen einer galvanischen Batterie. So wie die Kette geschlossen wird, erglüht der feine Drath und entzündet die Pulverladung. Man kann so die Entzündung ohne alle Gefahr aus weiter Ferne bewerkstelligen. Ferner lassen sich auf diese Art Felsen unter Wasser sprengen, indem man die nach der Pulvermine führenden Dräthe mit einem isolirenden Gutta-Percha-Ueberzuge versieht. Weiter gewährt die Entzündung durch den galvanischen Strom beim Sprengen größerer Felsenmassen den Vortheil, daß sich die Pulverladungen mehrerer Bohrlöcher gleichzeitig entzünden lassen, wodurch offenbar auf die ganze Masse eine viel

Digitized by Google

kräftigere Wirkung ausgeübt wird, als wenn diese Entzündungen in Zwischenräumen erfolgen.

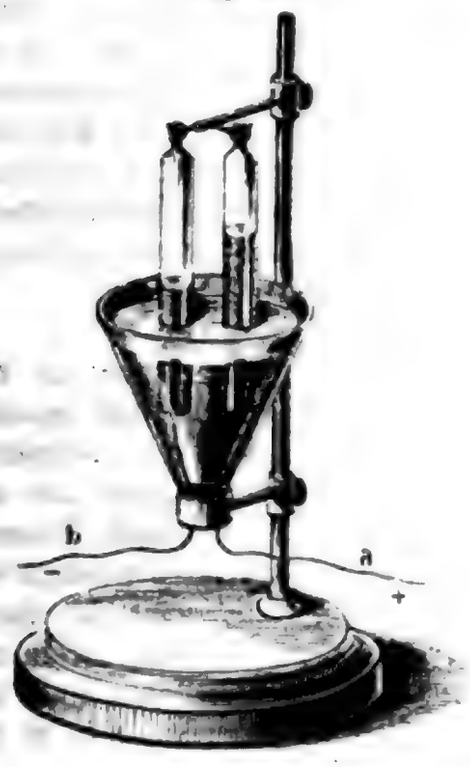
Eben so wie das stärkste Licht lassen sich durch den electrischen Strom auch die höchsten Grade künstlicher Hitze erzeugen. Durch die Combination zweier sehr kräftiger Batterieen, von denen die eine aus 600 Zinkkohlenelementen bestand, ist es Despretz in Frankreich vor einigen Jahren gelungen, selbst Kohle zu schmelzen und zu verflüchtigen.

Eine noch weit größere Wichtigkeit als die Erregung von Licht und Wärme durch den galvanischen Strom besitzen

c) die chemischen Wirkungen desselben. Wir stellen hier oben an die Zerlegung des Wassers in seine Bestandtheile, Sauerstoff und Wasserstoff. Die Chemie vermag zwar aus dem Wasser Sauerstoff oder Wasserstoff auszuscheiden. Der galvanische Strom aber bietet das alleinige Mittel dar, beide Bestandtheile zugleich zu erhalten. Zu diesem Zwecke füllt man ein gläsernes Gefäß, durch dessen Boden zwei Platindräthe a und b, Fig. 171, hindurchgeführt sind, mit Wasser und stellt über dieselben zwei bis oben an ebenfalls mit Wasser gefüllte Gläschen. Verbindet man nun die beiden Dräthe a und b mit den Polen einer galvanischen Batterie, so entwickelt sich am positiven Pole ein Gasstrom von Sauerstoff, am negativen Pole von Wasserstoff, und man erhält dem Maaße nach genau doppelt so viel Wasserstoff, als Sauerstoff.

Chemische Wirkungen des galvanischen Stromes.

(Fig. 171.)



So wie das Wasser, so lassen sich auch andere Körper durch die Volta'sche Säule in ihre Bestandtheile zerlegen. Mit Hilfe derselben kann man zeigen, wie zuerst Davy 1807 entdeckt hat, daß die Alkalien und Erden oxydirte (verbrannte) Metalle sind. Wenn hiernach die ganze äußere Rinde der Erdkugel ihrer Hauptmasse nach aus verrosteten, d. h. mit Sauerstoff verbundenen Metallen (oder Metalloiden) zusammengesetzt ist, so erscheint es als nicht unwahrscheinlich, daß der innere Kern derselben aus reinen gediegenen Metallen besteht, wofür auch das schon oben (S. 55) angeführte große specifische Gewicht der Erdkugel spricht. Wir würden hiernach die ganze Erde als einen Metallklumpen anzusehen haben, welcher sich an seiner mit Luft und Wasser in Berührung stehenden Oberfläche mit einer Rost- oder Oxydschicht bedeckt hat; aber eben diese Rostschicht macht es möglich, daß die metallische Erde sich mit Pflanzenwuchs bekleiden und zum Wohnplatz für beseelte Wesen dienen kann.

Wir übergehen die anderweitigen ebenso merkwürdigen, als nützlichen chemischen Wirkungen der galvanischen Kette, da von denselben zweckmäßiger in Verbindung mit der Galvanoplastik gehandelt wird, welche unseren Lesern in einem besonderen Abschnitte vorgeführt werden soll. Ueber die in der Batterie selbst vorgehenden chemischen Prozesse bemerken wir jedoch noch Folgendes:

Digitized by Google

Wenn in dem oben beschriebenen Versuche über die Zerlegung des Wassers die Poldräthe der Batterie nicht aus Platin, sondern aus einem unedlen Metalle, wie Eisen oder Kupfer, bestehen, so wird von den beiden Bestandtheilen des Wassers nur der eine, der Wasserstoff, wirklich entbunden; der andere dagegen, der Sauerstoff, verbindet sich mit dem unedlen Metalle zu Oxyd. Der nehmliche chemische Prozeß findet überdieß in jeder einzelnen Zelle der Batterie statt. In jeder wird Wasser zersetzt; der Wasserstoff wird frei, und der Sauerstoff verbindet sich mit dem Zink zu Zinkoxyd, welches von der Säure aufgelöst wird. Indem der in Gasform ausgeschiedene Wasserstoff von dem electronegativen Metalle, Kupfer, Platin oder Kohle, angezogen wird, bedeckt sich dieses mit einer dünnen Schicht von Wasserstoffgas. Weil aber hierdurch die unmittelbare Berührung dieses Metalles mit der Flüssigkeit gestört wird, so entsteht hieraus eine beträchtliche Schwächung des Stromes. Die Wirkungen der galvanischen Ketten, deren Zellen nur mit einer Flüssigkeit gefüllt sind, sind daher unmittelbar nach der Zusammensetzung am kräftigsten; sie nehmen dagegen bei eintretender und fortschreitender Gasentwicklung rasch ab. Wie diese Schwächung bei den constanten Ketten vermieden wird, davon wird, wie schon bemerkt, in einem späteren Abschnitte die Rede sein.

Von nicht geringerer Wichtigkeit, als die chemischen Wirkungen, sind

Magnetische Wirkungen des galvanischen Stromes.

d) die magnetischen Wirkungen der galvanischen Kette, welche wir nun noch unsern Lesern vorführen wollen.

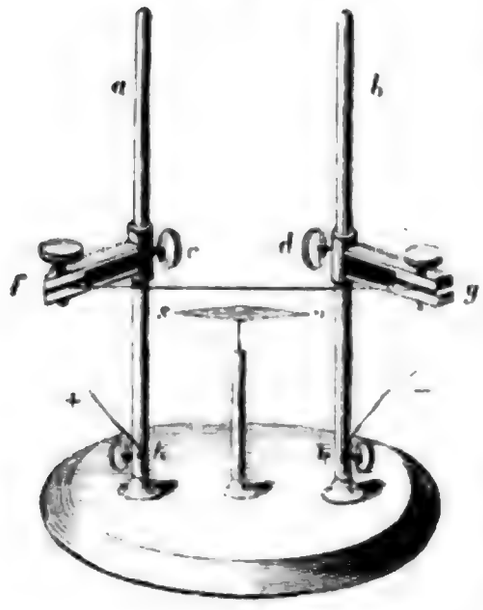
Wie wir schon oben gesehen haben, zeigt die Volta'sche Säule, wie sie zuerst von ihrem Erfinder 1799 aufgerichtet wurde, im ungeschlossenen Zustande die auffallendste Aehnlichkeit mit einem Magneten. Aber dennoch verhält sich dieselbe in diesem Zustande durchaus unmagnetisch; sie zeigt auch nicht die geringste Spur von Einwirkung auf die empfindlichsten magnetischen Apparate. Während in den beiden nächstfolgenden Decennien nach Aufrichtung der Säule die Untersuchungen der Physiker in Italien, Deutschland, Frankreich und England zu den reichsten Entdeckungen in Betreff physiologischer, thermischer und chemischer Erscheinungen führten, blieben alle Bemühungen, magnetische Wirkungen durch die Säule hervorzurufen, vergeblich, indem dieselben nicht, wie die angeführte Aehnlichkeit vermuthen ließ, an der geöffneten, sondern an der geschlossenen Kette oder Batterie hervortreten. Diese so höchst folgenreiche Entdeckung wurde zuerst von Oersted in Kopenhagen gegen Ende des Jahres 1819 gemacht und im Jahre 1820 veröffentlicht. — Wir können jedoch nicht unbemerkt lassen, daß Oersted seine Entdeckung fast zufällig gemacht hat, sowie dieselbe auch nicht durch ihn, sondern durch andere Physiker, ins Besondere durch Ampère in Frankreich und Faraday in England ausgebeutet und weiter geführt worden ist.

Der Oersted'sche Fundamentalversuch.

Um die Einwirkung des galvanischen Stromes auf die Magnetnadel zu zeigen, reicht schon ein einziges galvanisches Element, eine in ein mit verdünnter Säure gefülltes Gefäß eingetauchte Zink- und Kupferplatte aus. Bringt man in die Nähe des Schließungsdrathes einer solchen Kette eine Magnetnadel, so erleidet dieselbe eine Ablenkung in einer Richtung, welche zur Richtung des Stromes senkrecht ist. Um dieses bequemer zeigen zu können, ist es zweckmäßig, dem Schließungsdrathe eine feste Stellung zu geben. Hierzu eignet sich der Fig. 172 abgebildete Apparat. Auf einem Brettchen sind zwei Meissingstäbe a und b aufgerichtet, an welchen sich die Klemmen f und g, zwischen denen ein Drath ausgespannt ist, vermittelst der

Digitized by Google

(Fig. 172.)



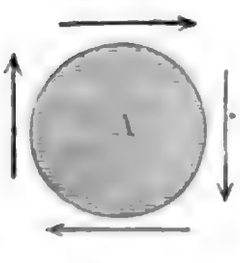
Schrauben c und d höher und niedriger stellen lassen. Zwei am untern Ende der Messingstäbe a und b angebrachte Klemmschrauben dienen, um an denselben die Poldräthe der galvanischen Kette zu befestigen.

Wird die Kette geschlossen und befindet sich der von dem electrischen Strome durchlaufene Drath fg oberhalb der Magnetnadel sn, so wird das Nordende, wenn der positive Strom in der Richtung von f nach g, also von Süden nach Norden geht, nach Westen, das Südende nach Osten abgelenkt. Diese Ablenkung tritt ein in dem Augenblicke, in welchem die Kette geschlossen wird; bleibt die Kette geschlossen, so kommt die Nadel nach einigen Schwankungen in einer zur Richtung des Stromes schiefen Richtung zur Ruhe. Wird die Richtung des Stromes umgekehrt, was leicht geschehen kann, indem man die an den Klemmschrauben h und k befestigten Dräthe vertauscht, so wird die Nadel jetzt nach der entgegengesetzten Seite abgelenkt. Ebenso geht die Ablenkung in die umgekehrte über, wenn man den Strom nicht über, sondern unter der Nadel herführt. Läßt man den Strom in gleicher Höhe mit der Nadel seitwärts neben derselben hergehen, so senkt sich das Nordende, und hebt sich das Südende, wenn der positive Strom in der Richtung von Süden nach Norden an der Westseite der Nadel hergeführt wird. Diese Ablenkungen gehen ebenfalls in die entgegengesetzten über, wenn man die Richtung des Stromes umkehrt oder den Strom an der anderen Seite neben der Nadel herleitet.

Die hier für die verschiedenen Fälle angegebenen Ablenkungen lassen sich bequem nach der von Ampère angegebenen Regel überblicken: Man denke sich selbst in die Richtung des Stromes, so daß der positive Strom von den Füßen zum Kopfe geht, und das Gesicht nach der Nadel hingewendet ist; dann erfolgt die Ablenkung des Nordendes allemal nach der linken (des Südendes nach der rechten) Hand hin.

Diese Regel bleibt auch dann noch richtig, wenn der Strom nicht in wagerechter Richtung, sondern in senkrechter Richtung neben dem einen Ende der Nadel vorbeigeführt wird.

(Fig. 173.)



Zur Veranschaulichung der Ampère'schen Regel kann auch noch Fig. 173 dienen: Es sei A der vergrößerte Durchschnitt eines Drathes, welcher von dem positiven Strome in der Richtung von der vorderen nach der hinteren Seite des Papiers durchlaufen wird, dann geben die beigesetzten Pfeile die Richtungen an, in welchen das Nordende der Nadel abgelenkt wird, wenn sich dieselbe über, unter, rechts oder links von dem Drathe befindet, während diese Ablenkungen für das Südende in der gerade entgegengesetzten Richtung erfolgen.

Wir dürfen annehmen, daß unsere Leser schon von selbst nicht unbeachtet gelassen haben werden, daß die Art und Weise, wie der electrische

Digitized by Google

Strom auf die Pole der Magnetnadel wirkt, sich von der Wirkungsweise aller andern Naturkräfte unterscheidet. Während alle bis zu Oersted's Entdeckung bekannten anziehenden oder abstoßenden Kräfte entweder nach oder von dem Mittelpunkte, also in der Richtung des Radius wirken, sehen wir hier die Wirkung in einer zum Radius senkrechten Richtung, also in der Richtung der Tangente erfolgen.

Elektromagnetische Rotation.

Widmen wir der Fig. 173 noch einige aufmerksame Blicke, so werden wir leicht zu der Ansicht geführt werden, daß von dem Drath, dessen vergrößerten Querdurchschnitt A vorstellt, das Bestreben ausgeht, den Nordpol im Kreise in der Richtung, welche die Pfeile anzeigen (und folglich den Südpol in der entgegengesetzten Richtung), um sich herumzuführen. Die Richtigkeit dieser Ansicht durch einen wirklich ausgeführten Versuch zu bestätigen, ist zuerst dem Scharfsinne Faraday's gelungen.

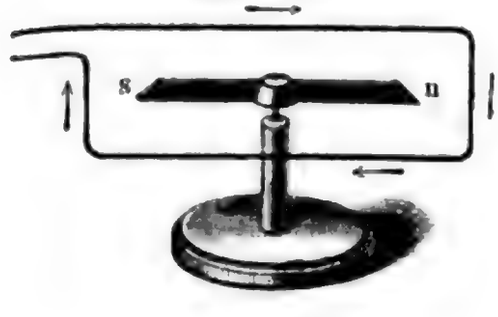
(Fig. 174.)

Fig. 174 stellt den von demselben zu diesem Zwecke angegebenen Apparat dar. Ein gläsernes Gefäß ist oben mit einem metallenen Rande umgeben und bis an denselben mit Quecksilber gefüllt. In dem Quecksilber schwimmt ein kleiner Magnetstab, welcher an seinem unteren Ende mit einem Platingewicht beschwert ist, damit er in dem Quecksilber in aufrechter Lage mit Stabilität schwimmt. In die Mitte des Quecksilbers taucht ein metallener Stift, welcher mit dem einen Pole einer galvanischen Batterie verbunden wird, während der metallene Ring mit dem anderen Pole in Verbindung steht. So wie die Kette geschlossen wird, beginnt der Magnetstab sich im Kreise um den Strom, welcher nur auf den am oberen Ende des Stabes liegenden Pol einwirkt, in der Richtung, wie dieß die Ampère'sche Regel angiebt, zu bewegen, und er setzt diese Umkreisung so lange fort, als die Kette geschlossen bleibt. Wir müssen jedoch bemerken, daß es zur Anstellung dieses Versuches eines sehr kräftigen Stromes bedarf, da das Quecksilber der Bewegung des Magnetstabes einen großen Widerstand entgegensetzt, und daß später andere Apparate erfunden worden sind, bei welchen sich ähnliche Rotationen auch durch schwächere Ströme bewerkstelligen lassen.

Der Multiplicator.

Ehe wir unsern Lesern die wichtigen Entdeckungen der Physiker, welche sich in rascher Folge an Oersted's erste Entdeckung anreihen, weiter vorführen, haben wir dieselben noch mit einem für die elektrischen Apparate äußerst nützlichen Prinzipe bekannt zu machen. Wie schon oben bemerkt, genügt auch ein schwacher Strom, um die Ablenkung der Magnetnadel aus ihrer normalen Lage hervorzubringen. Die Einwirkung des Stromes auf die Magnetnadel wird jedoch noch verstärkt, wenn man denselben in einer oder in wiederholten Windungen um die Magnetnadel herumführt. Ist z. B. die Magnetnadel sn, Fig. 175, von einem in Form eines Rechtecks gebogenen Drathe umgeben, und wird durch diesen Drath in der Richtung, welche die Pfeile anzeigen, ein electrischer Strom geführt, so ergiebt sich leicht aus der Ampère'schen Regel, daß sowohl die wagerechten, als auch die

(Fig. 175.)

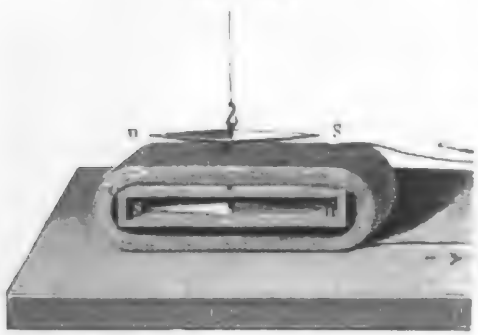


Digitized by Google

senkrechten Theile dieses Stromes die Nadel in demselben Sinne zu drehen streben.

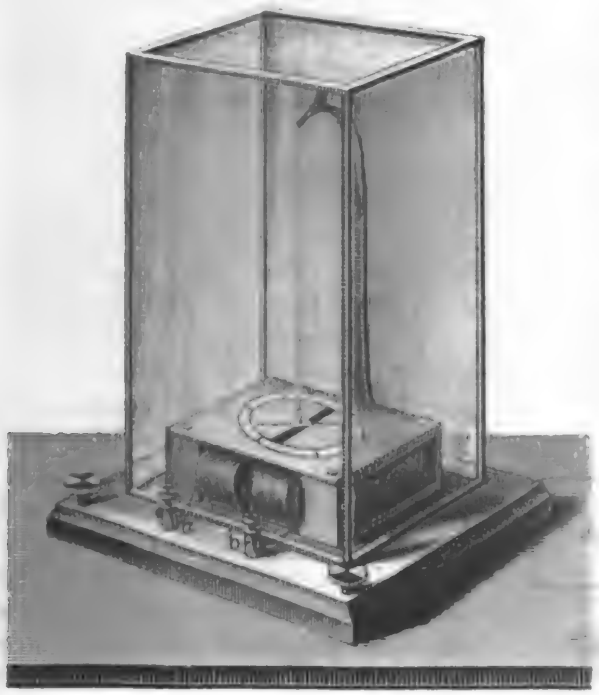
Ein Apparat, bei welchem ein der Isolirung wegen mit Seide übersponnener Drath in dicht neben einander herlaufenden Windungen um eine empfindliche Magnetnadel herumgeführt ist, eignet sich daher ganz besonders, sehr schwache electrische Ströme nachzuweisen, und führt den Namen Multiplicator. — Die Empfindlichkeit dieses Apparates wird noch erhöht, wenn man zwei Magnetnadeln von nahe gleicher Stärke so mit einander fest verbindet, daß ihre Pole eine entgegengesetzte Lage haben und dann um die eine derselben die Windung des Multiplicatordrathes herumleitet, wie dieses Fig. 176 zeigt. Da auf die so verbundenen Nadeln der Erdmagnetismus im gerade entgegengesetzten Sinne wirkt, so heben sich diese Wirkungen, wenn in beiden Nadeln der Magnetismus eine gleiche Stärke hat, gegenseitig auf, so daß, wenn durch den Multiplicatordrath ein Strom geführt wird, nur die Einwirkung des Stromes übrig bleibt. Es stellt sich daher die Doppelnadel nicht wie die einfache Nadel schief, sondern senkrecht zur Richtung des Stromes.

(Fig. 176.)



Auf die einfache in der Nähe eines electrischen Stromes befindliche Magnetnadel wirken zugleich der Erdmagnetismus, welcher dieselbe in der Richtung von Norden nach Süden zu führen strebt, und der electrische Strom, welcher die Nadel senkrecht auf seine eigne Richtung stellen will; es muß daher die Nadel eine zwischen die Richtungen dieser beiden Kräfte fallende Richtung annehmen.

(Fig. 177.)



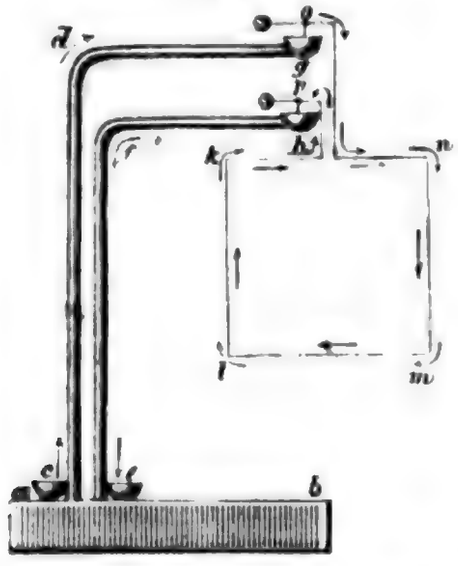
Einen besonders empfindlichen Apparat, um ganz schwache Ströme nachzuweisen, stellt Fig. 177 dar. Die beiden fest verbundenen Magnetnadeln mit entgegengesetzt liegenden Polen sind an einem einfachen Coconfaden aufgehängt; die obere derselben spielt über einem eingetheilten Kreise, die untere befindet sich innerhalb der Windungen des Multiplicatordrathes; die Enden dieses Drathes sind mit zwei Klemmschrauben a und b verbunden, an welchen die Poldräthe der galvanischen Kette befestigt werden, deren Strom durch den Multiplicatordrath hindurch geführt werden soll.

Digitized by Google

Erscheinungen an beweglichen Strömen.

So wie ein fester Strom bewegend auf einen beweglichen Magneten einwirkt, so ist schon von selbst einleuchtend, daß auch umgekehrt ein fester Magnetpol bewegend auf einen beweglichen Strom wirken muß. Um dieses zu zeigen, kann der folgende Apparat dienen: Zwei auf einem Brettchen ab, Fig. 178, befestigte und in wagerechte Arme auslaufende metallene Stäbe tragen am Ende dieser Arme zwei Quecksilberschälchen, g und h, in welche die Spitzen o und p eines in Form eines Rechtecks klmn gebogenen Drathes so eingesenkt sind, daß sich das Rechteck um eine durch diese Spitzen gehende lothrechte Linie drehen kann. Werden nun in die am untern Ende der metallnen Stäbe angebrachten Quecksilberschälchen die Poldräthe einer galvanischen Batterie eingesenkt, z. B. bei c der positive, bei e der negative Poldrath, so steigt der positive Strom zunächst in dem Stabe cdg empor, durchläuft dann das Rechteck in der Richtung nmlk und geht in dem Stabe hfe abwärts. Nähert man dann einer der Seiten des beweglichen Rechtecks den einen Pol eines Magneten, so erfährt das Rechteck eine Ablenkung in der entgegengesetzten Richtung, in welcher nach der oben angeführten Ampère'schen Regel der feste Strom auf den beweglichen Magneten wirkt. Nähert man z. B. den Magnetstab der unteren Seite des Rechtecks in wagerechter Richtung, so stellt sich diese Seite senkrecht auf die magnetische Axe des Stabes und zwar so, daß wenn sich der Beobachter selbst gemäß der Ampère'schen Regel in den diese Seite durchlaufenden, positiven Strom denkt, das Nordende nach der linken, das Südende nach der rechten Seite hin zu liegen kommt.

(Fig. 178.)



Entfernt man jeden künstlichen Magneten aus der Nähe des Rechteckes, so stellt sich dasselbe in Folge der Einwirkung des Erdmagnetismus, wenn der Strom eine hinreichende Stärke hat, senkrecht auf den magnetischen Meridian, also in die Richtung von Osten nach Westen. — Auch bei diesen Versuchen leistet das Prinzip des Multiplicators hülfreiche Dienste, indem man den Drath entweder mehrere spiralförmige in eine Ebene fallende Windungen machen läßt, oder indem man demselben die Form einer um einen Cylinder herumlaufenden Schraubenlinie giebt, wie dieses Fig. 179 zeigt.

(Fig. 179.)

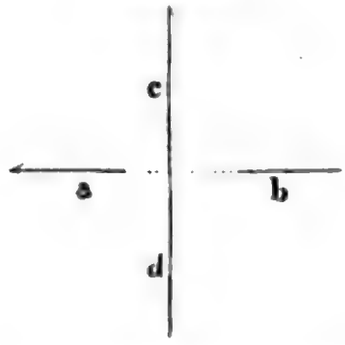
Der in Fig. 178 dargestellte Apparat kann auch dazu dienen, die Einwirkung zweier Ströme auf einander zu zeigen. Man hat hierzu nur nöthig, neben einer Seite des beweglichen Rechtecks einen festen Drath auszuspannen und durch diesen, sowie durch das Rechteck, einen electrischen Strom zu führen. Man wird sich dann ohne Schwierigkeit von der Richtigkeit der folgenden, vorzüglich durch Ampère festgestellten Gesetze überzeugen können:

Wenn zwei Ströme einander parallel laufen, so ziehen sie sich gegen-

Digitized by Google

seitig an, wenn sie eine gleiche Richtung haben; sie stoßen sich dagegen ab, wenn sie entgegengesetzte Richtung haben.

(Fig. 180.)



Wenn zwei Ströme ab und cd, Fig. 180, sich kreuzen, so findet Anziehung statt zwischen den Theilen b und d, welche nach dem Kreuzungspunkte hingehen, und ferner zwischen den Theilen a und c, welche von der Kreuzungsstelle fortgehen; Abstoßung dagegen findet statt zwischen einem Theile, welcher zum Kreuzungspunkte hin-, und einem solchen, welcher vom Kreuzungspunkte weggeht, also zwischen den Theilen a und d und zwischen den Theilen b und c.

Zwei sich kreuzende Ströme streben daher, indem a und c, ferner b und d sich anziehen, und a und d, ferner b und c sich abstoßen, sich so zu stellen, daß sie einander parallel laufen und gleiche Richtung haben.

Der Electromagnet.

Wir haben im Obigen nur die Wirkung, welche der elektrische Strom auf einen Magneten hervorbringt, kennen gelernt. Wir haben aber noch die Frage zu beantworten, welchen Einfluß ein electrischer Strom auf unmagnetisches Eisen ausübt. Wie wir oben gesehen haben, stellt ein Strom eine Magnetnadel, wenn dieselbe nur dem Einflusse des Stromes unterworfen ist, in eine zur Richtung des Stromes senkrechte Lage. Ein Strom wird daher auf einen Stahl- oder Eisenstab am kräftigsten dann einwirken, wenn er eine zur Axe des Stabes senkrechte Richtung hat. Führt man einen Strom in dieser Richtung neben einem unmagnetischen Stahl- oder Eisenstabe vorbei, so verwandelt sich dieser unter dem Einflusse des Stromes in einen Magneten, dessen Pole so liegen, wie dieß die mehr erwähnte Ampère'sche Regel vorschreibt. Der Magnetismus wird aber bei Weitem kräftiger im weichen, als im harten Eisen oder Stahl erregt; den größten Gewinn jedoch erhält man durch Benutzung des Prinzips des Multiplicators, indem man den mit Seide umsponnenen Drath in zahlreichen Windungen um das zu magnetisirende Eisen in der Art, wie dieß Fig. 181 zeigt, herumleitet. Man vermag auf diese Art aus weichem Eisen Magnete herzustellen, welche viele Centner tragen und die Stahlmagnete an Tragkraft weit übertreffen. Aber der auf diese Art im weichen Eisen hervorgerufene Magnetismus ist nicht von Dauer; er verschwindet wieder, wenn nicht ganz, doch größtentheils, beim Aufhören des Stromes.

(Fig. 181.)

Trotz der großen Stärke dieser Electromagnete haben dieselben bis jetzt zur Bewegung von Maschinen noch keine praktische Anwendung gefunden; sie haben die Dampfkraft nicht zu ersetzen oder zu verdrängen vermocht, weil bei gleicher Leistung einer electromagnetischen und einer Dampfmaschine sich die Kosten für die Erregung des galvanischen Stromes beträchtlich höher, als für die Erzeugung der erforderlichen Dämpfe stellen. Abgesehen hiervon würde die Ausführung electromagnetischer Maschinen keine Schwierigkeiten darbieten; man findet dergleichen vielmehr häufig in physikalischen Cabineten. Wir übergehen jedoch die Beschreibung derselben, da sie keinen praktischen Nutzen gewähren. Von der Anwendung, welche der Electro-

Digitized by Google

magnetismus in der Telegraphie findet, wird in einem besonderen Abschnitt gehandelt werden.

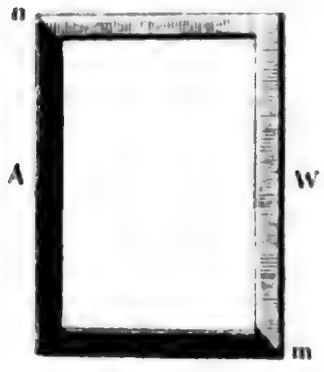
Nachdem wir im Vorhergehenden die hauptsächlichsten physiologischen, chemischen, thermischen und magnetischen Wirkungen des electrischen Stromes kennen gelernt haben, von der ersten Entdeckung Galvani's im Jahre 1786 bis zu der so folgenreichen Beobachtung Oersted's im Jahre 1820, haben wir nun noch weiter darüber zu berichten, wie die Entdeckungen der Physiker in den letzten Jahrzehnden zur Umkehrung dieser sämmtlichen Sätze, nehmlich zu dem Ergebniß geführt haben, daß auch umgekehrt durch Magnetismus und Wärme, durch chemische und physiologische Prozesse electrische Ströme hervorgerufen werden.

Was zunächst den chemischen Prozeß anlangt, so ist derselbe mit dem electrischen Strome so innig verbunden, daß sich nicht einmal mit Sicherheit entscheiden läßt, vielmehr die Ansichten der Physiker darüber getheilt sind, ob in der galvanischen Kette die in Bewegung gesetzte Electricität oder der chemische Prozeß, Zerlegung des Wassers und Vereinigung des oxydirten Zinks mit den vorhandenen Säuren, als bedingende Ursache, und ob das Eine oder das Andere als erzeugte Wirkung anzusehen ist.

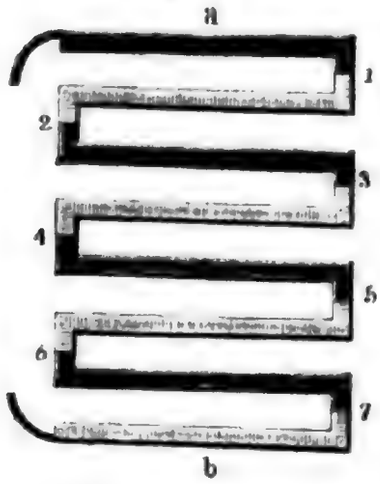
Thermomagnetismus.

Daß aber auch ohne chemischen Prozeß durch bloße Erwärmung electrische Ströme hervorgerufen werden können, ist bald, nachdem Oersted die Einwirkung des elektrischen Stromes auf die Magnetnadel kennen gelehrt hatte, mit Benutzung dieser Entdeckung im Jahre 1821 durch Seebeck in Berlin aufgefunden worden. — Es läßt sich dieses am einfachsten zeigen, wenn man zwei verschiedene Metalle, am besten Antimon und Wismuth, in Form eines Rechtecks, wie dieses Fig. 182 zeigt, zusammenlöthet, die eine Seite dieses Rechtecks parallel über eine Magnetnadel hält und eine der Löthstellen m oder n erwärmt. Man bemerkt dann, daß die Magnetnadel eine Ablenkung erleidet; diese Ablenkung wird noch verstärkt, wenn man, während die eine Löthstelle erwärmt wird, zugleich die andere erkältet. Die Seite, nach welcher die Ablenkung erfolgt, Ost oder West, läßt mit Benutzung der oben angeführten Ampère'schen Regel die Richtung des Stromes erkennen, welcher durch die vier Seiten des Rechtecks circulirt; diese Richtung geht in die entgegengesetzte über, wenn man die wärmere und die kältere Löthstelle mit einander vertauscht.

(Fig. 182.)



(Fig. 183.)



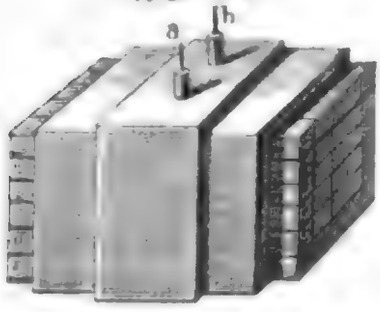
Noch kräftigere Wirkungen werden erhalten, wenn man mehrere Stäbe aus Wismuth und Antimon in der Anordnung, wie dieses Fig. 183 darstellt, zusammenlöthet, die beiden äußersten Stäbe a und b durch Dräthe mit einem empfindlichen Multiplicator verbindet und dann die nach einer Seite liegenden Löthstellen, z. B. 1, 3, 5, 7 erwärmt, und die anderen 2, 4, 6 erkältet. Mit Hilfe der angegebenen Verbindung mehrerer Stäbe kann man durch den

Digitized by Google

thermoelectrischen Strom nicht blos magnetische, sondern auch alle anderen Wirkungen einer schwachen Volta'schen Säule hervorbringen.

Die nützlichste Anwendung aber von dieser Combination hat Nobili gemacht, indem er um des bequemeren Gebrauchs Willen die durch zwischengebrachte Nichtleiter gehörig isolirten Stäbe in ein Bündel vereinigte, so daß alle paarigen Löthstellen nach der einen, alle unpaarigen nach der andern Seite zu liegen kommen. An das äußerste Wismuthstäbchen und an das äußerste Antimonstäbchen sind Dräthe gelöthet, welche durch die elfenbeinernen Röhrchen a und b, Fig. 184, hindurchgehen und mit einem Multiplicator verbunden werden. Die geringste Erwärmung der nach der einen Seite liegenden Löthstellen vermag schon eine starke Ablenkung der Multiplicatornadel hervorzurufen.

(Fig. 184.)



Besonders Melloni hat diesen von Nobili erfundenen Thermomultiplicator, welcher jedes andere Thermometer an Empfindlichkeit weit übertrifft, zur Ermittelung der Gesetze der strahlenden Wärme benutzt. Es zeigt sich uns auch hier wieder, wie in unzähligen anderen Fällen, ein Beispiel, wie Fortschritte in dem einen Zweige der Naturwissenschaften zu Entdeckungen in anscheinend ganz fremdartigen Gebieten führen.

Electrische Induction.

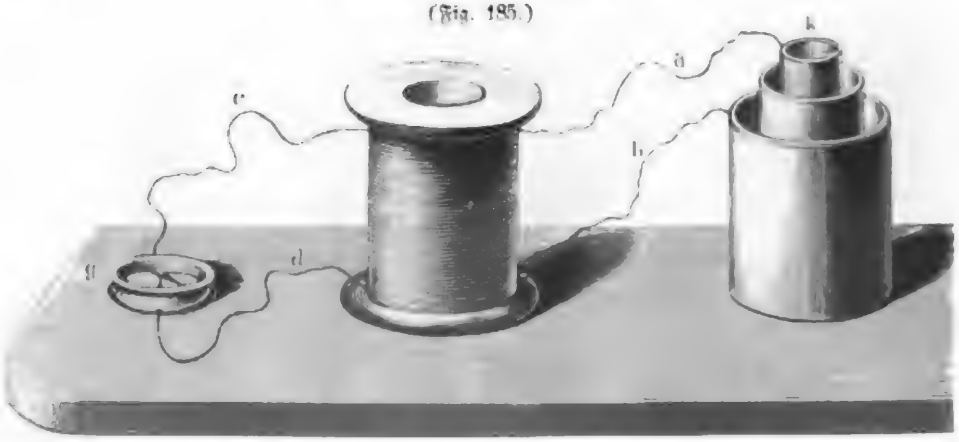
So wie Seebeck mit Hilfe von Oersted's Entdeckung zur Auffindung der thermoelectrischen Ströme gelangt ist, so hat weiter Faraday in England dieselbe für die großartigsten und überraschendsten Entdeckungen benutzt. Zunächst im Jahre 1831 hat derselbe gezeigt, daß jeder galvanische Strom bei seinem Eintreten und bei seinem Verschwinden zugleich in benachbarten Leitern electrische Ströme hervorruft. Faraday nennt diese letzteren Ströme inducirte, den ursprünglichen galvanischen Strom den inducirenden.

Die Stärke des inducirten Stromes wird natürlich durch die des inducirenden bedingt; weiter aber hängt dieselbe auch von der Nähe beider Ströme und von der Länge des Weges ab, welchen beide neben einander durchlaufen. Da es unbequem sein würde, zwei sehr lange Dräthe parallel neben einander auszuspannen, so pflegt man einen mehrere Hundert Fuß langen Drath auf eine Rolle zu wickeln, welchen man vorher mit Seide umsponnen hat, damit die auf oder neben einander liegenden Windungen des Drathes sich nicht berühren, sondern gegen einander isolirt sind. Auf diesen Drath wickelt man dann einen zweiten ebenfalls mit Seide umsponnenen Drath. Bringt man dann die Enden a und b des einen Drathes, welchen wir den Hauptdrath nennen wollen, mit den Polen einer galvanischen Kette k, Fig. 185, die Enden des andern Drathes c und d, welcher der Nebendrath heißen mag, mit einem Galvanometer g in Verbindung, so erleidet die Magnetnadel in dem Augenblicke, in welchem durch den Hauptdrath die Kette geschlossen wird, also in diesen der galvanische Strom eintritt, eine Ablenkung zum Beweise, daß auch in dem Nebendrath ein electrischer Strom hervorgerufen wird, und sie wird aufs Neue, aber nach der entgegengesetzten Seite abgelenkt, wenn der galvanische Strom durch Oeffnung des Hauptdrathes unterbrochen wird.

Die in dem Nebendrathe hervorgerufenen inducirten Ströme unterscheiden sich von den eigentlichen galvanischen Strömen darin, daß sie nicht dauernd,

Digitized by Google

(Fig. 185.)



ſondern nur vorübergehend ſind, nur beim Eintreten und Verſchwinden des Hauptſtromes ſich zeigen. Im Uebrigen vermögen ſie alle Wirkungen der galvaniſchen Ströme hervorzubringen. Werden die Enden des Nebendrathes einander bis auf einen kleinen Abſtand genähert, ſo ſieht man zwiſchen denſelben, beim Schließen oder Oeffnen der Kette durch den Hauptdrath, einen Funken überſpringen. Faßt man die Enden des Nebendrathes oder noch beſſer die an dieſe angelötheten metallenen Griffe mit den Händen an, ſo empfindet man beim Eintreten und Verſchwinden des Stromes im Hauptdrathe eine Erſchütterung. Dieß iſt auch dann der Fall, wenn der galvaniſche Strom ſelbſt viel zu ſchwach iſt, um unmittelbar empfunden zu werden. Die Empfindung ſteigert ſich und kann unerträglich werden, wenn die Erſchütterungen ſehr raſch auf einander folgen. Wir werden ſogleich eine Vorrichtung kennen lernen, durch welche dieſes raſche Oeffnen und Schließen der Kette in zweckmäßiger Weiſe bewirkt werden kann. Wir haben nur vorher noch eine weitere Entdeckung Faraday's anzuführen.

Faraday hat nehmlich auch gezeigt, daß ein electriſcher Strom nicht blos in benachbarten Leitern, ſondern auch in dem Drathe, den er ſelbſt durchläuft, einen inducirten Strom hervorruft. Faraday nennt dieſen inducirten Strom den Extraſtrom. Eine Wirkung dieſes Extraſtromes zeigt ſich, wenn man eine galvaniſche Kette, welche für ſich keine Erſchütterung hervorzubringen vermag, durch einen ſehr langen Drath ſchließt und nahe an die Enden des Drathes angelöthete Metallſtücke mit den Händen anfaßt. Man empfindet dann beim Oeffnen der Kette eine Erſchütterung, was nicht der Fall iſt, wenn der Schließungsdrath nur eine geringe Länge hat. Beim Schließen der Kette wird auch bei einem langen Drathe eine Erſchütterung nicht wahrgenommen, weil dann der inducirte und der inducirende Strom, wie aus der Ablenkung der Magnetnadel folgt, entgegengeſetzte Richtung haben und ſich daher gegenſeitig ſchwächen. Beim Oeffnen der Kette haben dieſelben dagegen die nehmliche Richtung und müſſen ſich folglich verſtärken.

Man benutzt gegenwärtig die inducirten Ströme, insbeſondere den Extraſtrom, häufig für mediciniſche Zwecke. Fig. 186 ſtellt einen hierzu geeigneten Apparat dar, bei welchem das raſche Schließen und Oeffnen der Kette durch den von Wagner erfundenen und von Neeff für derartige Apparate benutzten electro-magnetiſchen Hammer bewirkt wird. Auf einem hölzernen Brettchen ſind zwei metallne Ständer a und b, eine Drathſpirale S und eine kurze metallne Säule c befeſtigt. Die Drathſpirale wird durch einen

Digitized by Google

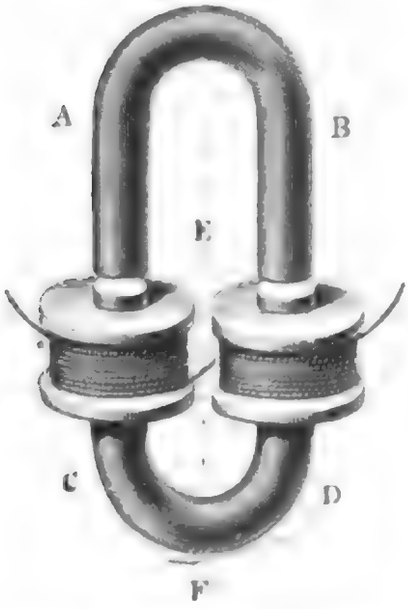
bewirkt. Indem aber die Enden des Drathes der Spirale, auch wenn der galvanische Strom bei f eine Unterbrechung erfährt, mit den beiden Handgriffen gg unausgesetzt in leitender Verbindung bleiben, so nimmt der bei jedesmaliger Unterbrechung des galvanischen Stromes in der Drathspirale S erzeugte Extrastrom seinen Weg durch den Körper des Menschen, welcher die Griffe gg in den Händen hält, und wird von demselben um so lebhafter empfunden, je rascher die Unterbrechungen aufeinander folgen.

In wie weit die in den letzten Jahren häufig gemachten Anwendungen derartiger Apparate für medicinische Zwecke wirklich von heilsamen Erfolgen begleitet gewesen sind, kann für uns hier keinen Gegenstand der Erörterung bilden. Ueber die Hervorrufung inducirter Ströme aber haben wir noch anzuführen, daß in einem geschlossenen Leiter auch schon dann, wenn demselben ein galvanischer Strom genähert oder von ihm entfernt wird, inducirte Ströme entstehen. Man zeigt dieses, indem man zwei Drathrollen, von denen die eine mit einer galvanischen Kette, die andere mit einem Multiplicator verbunden ist, einander nähert und wieder von einander entfernt. Sowohl bei der Annäherung, als bei der Entfernung erfährt die Multiplicatornadel eine Ablenkung; die Ablenkung ist im ersten Falle die entgegengesetzte von der im zweiten. Aus der Art dieser Ablenkung ergiebt sich, daß der durch die Annäherung erzeugte inducirte Strom die entgegengesetzte, der bei der Entfernung entstehende inducirte Strom die gleiche Richtung mit dem inducirenden Strome hat.

Magnetische Induction.

Wir haben oben gesehen, daß ein electrischer Strom im weichen Eisen vorübergehenden Magnetismus zu erregen vermag, und daß besonders dann eine kräftige Wirkung eintritt, wenn der electrische Strom das Eisen in zahlreichen Windungen umkreist. Auch für dieses physikalische Gesetz ist zuerst durch Faraday die Umkehrung aufgefunden worden. Faraday hat nehmlich gezeigt, daß jeder im weichen Eisen entstehende oder verschwindende Magnetismus in geschlossenen Leitern, welche in der Nähe des Magneten vorhanden sind, inducirte Ströme hervorruft. Um dieses zu zeigen, führt man um die beiden Schenkel eines gebogenen Stückes weichen Eisens CD, Fig. 187, einen Drath in mehreren Windungen und verbindet die Enden desselben mit einem Galvanometer. Legt man nun das Hufeisen CD an die Pole eines Stahlmagneten AB, so verwandelt sich das weiche Eisen, wie wir oben gesehen haben, ebenfalls in einen Magneten, und der in demselben erzeugte Magnetismus ruft in dem umwundenen Drath einen inducirten Strom hervor, welcher sich durch eine plötzliche Ablenkung der Multiplicatornadel zu erkennen giebt. Ein abermaliger inducirter Strom, aber von entgegengesetzter Richtung, wie die jetzt nach der andern Seite hin erfolgende Ablenkung der Magnetnadel zeigt, durchläuft den umwickelten Drath, wenn bei dem Losreißen des weichen Eisens CD von den Polen des Stahlmagneten AB der Magnetismus in jenem wieder verschwindet.

(Fig. 187.)



Auch diese inducirten Ströme vermögen nicht blos ablenkend auf die Magnetnadel zu wirken, sondern auch alle andern Wirkungen der galvanischen

Digitized by Google

Ströme hervorzubringen. Wie schon oben bemerkt, unterscheiden sich die inducirten Ströme überhaupt von den eigentlich galvanischen darin, daß sie nicht andauernd sind. Eine weitere Verschiedenheit besteht noch darin, daß die inducirten Ströme mehr befähigt sind, Leitungswiderstände zu überwinden und sich daher mit größerer Leichtigkeit durch schlechtere Leiter, wie z. B. den menschlichen Körper, führen lassen.

Wenn das weiche Eisen CD in Fig. 187 um eine durch die Mitte desselben gehende Axe EF so gedreht wird, daß die Enden desselben ganz nahe an den Polen des Stahlmagneten AB vorübergehen, so erhalten bekanntlich die Enden des weichen Eisens die umgekehrten Magnetismen von den Polen des Stahlmagneten, denen sie gegenüberstehen, und da diese Enden nach jeder halben Umdrehung ihre Plätze wechseln, so müssen auch diese Magnetismen jedesmal in die entgegengesetzten übergehen und daher nach jeder halben Umdrehung in dem umwundenen Drathe einen und nach jeder ganzen Umdrehung zwei inducirte Ströme von entgegengesetzten Richtungen hervorrufen. Wenn nun die Enden des Drathes mit zwei metallnen Griffen leitend verbunden sind, welche ein Mensch in den Händen hält, so gehen diese inducirten Ströme durch den menschlichen Körper und bewirken in demselben eine um so stärkere Empfindung, je rascher die Umdrehung erfolgt.

Auf diesem Principe beruht die magnetelectrische Maschine, welche in der Abbildung auf S. 222 links unten dargestellt ist. Eine ausführliche Beschreibung einer solchen Maschine würde jedoch unsern Lesern schwerlich ein hinreichendes Interesse gewähren. Wir bemerken nur, daß derartige Maschinen sich, ebenso wie die Neeff'schen Apparate (s. oben S. 221), für medicinische Zwecke gebrauchen lassen. Auch können die inducirten Ströme zum electrischen Telegraphiren und zum Entzünden des Schießpulvers bei Sprengungen benutzt werden.

Indem wir unsern Lesern zuletzt zwei wichtige Entdeckungen Faraday's im Gebiete des Electromagnetismus vorgeführt haben, können wir nicht unterlassen, dieselben daran zu erinnern, daß wir schon oben eine der großartigsten Entdeckungen, welche wir diesem scharfsinnigen Forscher verdanken, kennen gelernt haben; wir meinen die von Faraday im Jahre 1845 gemachte und mit dem Namen Diamagnetismus bezeichnete Erscheinung, daß Körper, wie Gold, Silber, Kupfer, Blei, Wismuth, Schwefel, Phosphor, Holz, Wasser u. dgl. m., welche vom Magneten nicht angezogen werden, und von denen man bis dahin angenommen hatte, daß sie sich gegen den Magnetismus ganz indifferent verhielten, von dem einen, wie von dem andern Pole eines kräftigen Magneten abgestoßen werden. Wir reihen hieran noch die kurze Erwähnung einer andern wunderbaren Entdeckung, welche dieser große Physiker ebenfalls im Laufe des Jahres 1845 gemacht hat, daß nehmlich die magnetischen und electrischen Kräfte auch eine Einwirkung auf polarisirtes Licht, eine Drehung des Polarisators hervorzubringen vermögen. Wir übergehen jedoch die ausführlichere Beschreibung dieser Erscheinungen, da bis zur Zeit noch eine nähere Kenntniß über den Einfluß und Zusammenhang derselben mit den allgemeinern und umfassendern Naturerscheinungen fehlt.

Thierische Electricität.

Wir gehen vielmehr zur Beantwortung der letzten Frage, welche uns noch vorliegt, über, in wie weit auch durch den thierischen Lebensproceß electrische Erscheinungen hervorgerufen werden.

Unsere Leser erinnern sich ohne Zweifel, daß gerade die physiologischen Wirkungen des electrischen Stromes Galvani zuerst im Jahre 1786 zur

Digitized by Google

Entdeckung der nach ihm benannten Electricitätserregung geführt haben. Daß nun auch umgekehrt durch den thierischen Lebensproceß electrische Ströme erzeugt werden, ins Besondere in dem menschlichen Körper durch Anstrengung der Muskeln nach Willkühr hervorgerufen werden können, ist vorzüglich durch die in neuerer Zeit (1848) von Dü-Bois-Reymond angestellten Untersuchungen nachgewiesen worden. Da diese Ströme jedoch mehrentheils sehr schwach sind, so bedarf es zur Beobachtung derselben äußerst empfindlicher Apparate und großer Vorsicht in der Behandlung dieser Apparate, weil schon durch irgend eine Verschiedenheit zweier homologe Stellen in der galvanischen Kette einnehmenden Glieder ein Strom hervorgerufen werden kann, welcher im Stande ist, die zu beobachtende Wirkung des durch den thierischen Lebensproceß erzeugten Stromes zu verdunkeln oder ganz aufzuheben. Bei dem von Dü-Bois angewendeten Multiplicator machte der über 3000 Fuß lange Drath 4650 Windungen. Wenn nun die in Platinplatten auslaufenden Drathenden dieses Multiplicators in zwei mit Salzwasser gefüllte Gefäße eingesenkt wurden, und ein Mensch in jedes dieser Gefäße eine Hand tauchte, so erfuhr die Multiplicatornadel, wenn die Muskeln des einen Arms stärker, als des andern angestrengt wurden, eine Ablenkung nach der einen oder nach der andern Seite, je nachdem diese Anstrengung in dem einen oder dem andern Arme überwog. Es würde uns jedoch zu weit führen, auf die übrigen von Dü-Bois angestellten, sehr umfassenden Untersuchungen näher einzugehen. Wir führen nur noch das eine Hauptresultat an, daß alle thierischen Muskeln und Nerven, so lange sie überhaupt noch erregbar sind, mit electromotorischen Kräften begabt sind.

Diese äußern sich in einer ganz ungewöhnlichen Stärke bei gewissen Fischen, welche den Namen der electrischen Fische führen, und zu denen der Zitteraal, der Zitterrochen und der Zitterwels gehören. Diese Fische besitzen die Fähigkeit, den sie berührenden Menschen oder Thieren nach Willkühr kräftige electrische Schläge zu ertheilen. Der Schlag wird auch empfunden, wenn man das Thier nicht unmittelbar, sondern mit einem electrischen Leiter, z. B. mit einem Drathe, welchen man in der Hand hält, berührt. Die Empfindung bleibt dagegen aus, wenn der Zwischenkörper ein schlechter Leiter der Electricität, z. B. ein Glasstab ist. Die Schläge, welche ins Besondere der die Gewässer Südamerika's bewohnende Zitteraal zu ertheilen vermag, sind im hohen Grade betäubend und selbst den größten Thieren Gefahr bringend. Die Steppenstraße von Uritucu mußte einst, wie Alex. v. Humboldt erzählt, verändert werden, weil sich in einem Flüßchen die Zitteraale in solcher Menge angehäuft hatten, daß jährlich viele Pferde, denen sie ihre Schläge ertheilen, indem sie sich unter den Bauch derselben drängen, vor Betäubung in der Furt ertranken. Auch alle andern Fische fliehen die Nähe dieser gefährlichen Aale. Selbst den Angelnden erschrecken sie, wenn die feuchte Schnur ihm die electrische Erschütterung zuleitet. Haben sie mehrere Schläge nach einander abgegeben, so bedürfen sie einer längern Ruhe, um neue Kraft zu sammeln.

Die electrischen Schläge werden bei sämmtlichen electrischen Fischen durch ein besonderes Organ hervorgebracht, welches zwar in der Lage und äußern Form Verschiedenheiten zeigt, in seinem innern Bau aber bei allen im Wesentlichen übereinstimmt. Dasselbe besteht aus zahlreichen eckigen oder rundlichen Säulchen, welche durch eine sehnigte Haut von einander geschieden sind; die einzelnen Säulchen sind aus vielen dünnen Blättchen, zwischen

Digitized by Google

welchen sich eine schleimigte Flüssigkeit befindet, zusammengesetzt. Man zählt beim Zitterrochen gegen tausend solcher Säulchen, welche den Raum vom Bauche bis zum vordern Ende des Kopfes einnehmen, und deren parallele Axen senkrecht, also vom Rücken nach dem Bauche hin gerichtet sind. Beim Zitteraale liegt das electrische Organ in dem sehr langen Schwanze und erstreckt sich fast durch die ganze Länge desselben, die Säulchen haben die Richtung vom Schwanze nach dem Kopfe hin. Man bekömmt daher beim Zitterrochen die kräftigsten Schläge, wenn man den Rücken und Bauch, beim Zitteraal, wenn man Kopf- und Schwanzende zugleich berührt. — Indem man an die bezeichneten Stellen Metallplatten anlegte und dieselben durch einen Drath verband, hat man durch die von dem Fische ertheilten Schläge electrische Funken und selbst chemische und magnetische Wirkungen hervorgebracht.

Wenn wir nicht zweifeln dürfen, daß den gedachten Fischen dieses wunderbare Organ als Vertheidigungswaffe verliehen ist, so müssen wir dagegen erst von der Zukunft Belehrung darüber erwarten, welchen Einfluß die in den thierischen Organismen allgemein verbreiteten schwachen electrischen Ströme auf den Lebensproceß und das Wohlsein der Thiere und ins Besondere auch des Menschen ausüben dürften.

Ist uns doch selbst die Bedeutung, welche überhaupt den beiden räthselhaften Agentien, Electricität und Magnetismus, im großen Haushalte der Natur zukommt, eben sowie das Wesen derselben, worüber kaum eine Hypothese gewagt werden kann, zur Zeit noch gänzlich verborgen. Wir messen die Größe und Richtung der Kraft des Erdmagnetismus, unsere magnetischen Instrumente weisen uns die täglichen und jährlichen Aenderungen dieser Kraft, so wie eine über Jahrhunderte sich erstreckende Schwankung auf. Das Luftelectrometer zeigt uns, daß die Atmosphäre fast zu allen Tages- und Jahreszeiten mit Electricität geladen ist. Aber die Einflüsse, welche der Erdmagnetismus und die Luftelectricität, ja selbst die großartigste aller Naturerscheinungen, die wir beobachten, das Gewitter, auf die Gesammtheit der auf der Erde befindlichen Körper ausüben, der Antheil, welcher denselben in Betreff der umfassenderen Veränderungen gebührt, denen die Körperwelt fortwährend unterworfen ist, erscheint, so viel uns hierüber bis jetzt bekannt, als unbedeutend gegen die allgewaltigen Wirkungen, welche andere Naturkräfte, wie z. B. die Wärme hervorbringen. Wir gewahren das flammende Licht des Blitzstrahls und vernehmen das Krachen des Donners nicht ohne das Gefühl unserer eigenen Schwäche und Ohnmacht, wir erfahren, daß durch den Blitz Häuser entzündet, Thiere und Menschen getödtet werden, aber der Nutzen, welchen die electrische Entladung der Gewitterwolke an und für sich, nicht der begleitende Regen, auf das Wachsthum der Pflanzen, auf das Wohlbefinden der Thiere und Menschen ausüben dürfte, ist, wenigstens anscheinend, so gering, daß unsere bisherigen Erfahrungen denselben noch nicht mit Sicherheit herausgestellt haben. Denn in der Natur pflegen nicht die augenfälligsten, sondern oft die scheinbar kleinsten und verborgensten Ursachen die großartigsten Wirkungen hervorzubringen.

Die fortgesetzten Beobachtungen des electrischen Zustandes der Atmosphäre, die in neuerer Zeit auf Anregung Alex. v. Humboldt's in weitester Verbreitung über die Erdoberfläche errichteten magnetischen Observatorien, die unermüdlichen Forschungen der ausgezeichnetsten Geister aller civilisirten Nationen des Erdballes, vorzüglich in Deutschland, England und Frankreich, lassen jedoch der Hoffnung Raum geben, daß die fortschreitende Wissenschaft

Digitized by Google

auch in das Dunkel, in welches noch gegenwärtig das Wesen und die Bedeutung der beiden wunderbaren Kräfte, Magnetismus und Electricität, gehüllt sind, ein helleres Licht bringen und eine klarere Einsicht gewähren wird, und zwar um so mehr, als gerade die Entdeckungen der letzten Decennien einen innigeren Zusammenhang der Erscheinungen des Magnetismus und der Electricität so wohl unter sich, als auch mit den bereits genauer erforschten Erscheinungen des Lichtes und der Wärme kennen gelehrt haben.

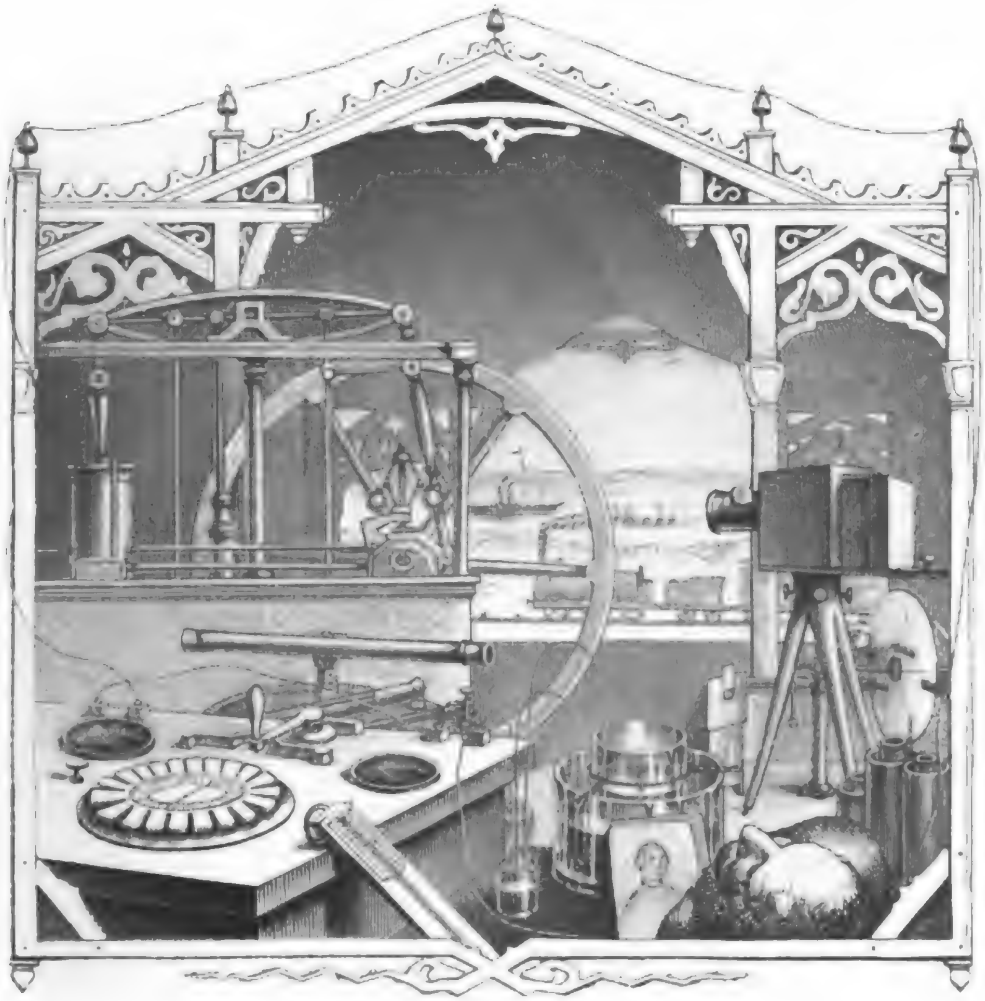
Nachträgliche Bemerkung zu S. 111:

Nach den von Holtzmann in Stuttgart in neuester Zeit bekannt gemachten Untersuchungen schwingt das polarisirte Licht nicht, wie bisher angenommen und a. a. O. angegeben worden ist, in einer zur Polarisationsebene senkrechten Richtung, sondern in der Richtung dieser Ebene selbst. Wenn hiernach unsere obige Angabe über die Lage der Polarisationsebene abzuändern sein dürfte, so hat diese Aenderung doch auf die übrigen an jene Angabe geknüpften Erörterungen keinen Einfluß, da der Hauptunterschied zwischen einem polarisirten und einem gewöhnlichen Lichtstrahle, nehmlich daß bei jenem die Aethertheilchen nur in einer, bei diesem in verschiedenen Ebenen schwingen, vor wie nach bestehen bleibt.

Digitized by Google

Zur

phyſikaliſchen Technologie.



Digitized by Google

I.

Die Dampfmaschine.

Von

C. L. Moll,

Civil-Ingenieur.

Digitized by Google

Schon ein flüchtiger Blick auf die Geschichte der letzten hundert Jahre läßt die großen und mannichfachen Veränderungen erkennen, welche während dieser Zeit der ganze Zustand der menschlichen Gesellschaft erfahren hat. Und wenn die Frage aufgeworfen wird, was denn jene Veränderungen hervorgerufen hat, so muß als eine der Hauptursachen derselben die Nutzbarmachung der Spannkraft des Wasserdampfes genannt werden. Die Dampfmaschine, dieses aus eisernen Gliedern so sinnreich zusammengefügte Wesen, ist während jenes Zeitraumes zu einem Diener des Menschen geworden, wie er sich keinen willigeren, stärkeren und unverdrosseneren wünschen kann. Erst dieser Diener hat den Menschen in mancher Hinsicht zum Herrn über den leblosen Stoff gemacht. Ueberall kann er gebraucht werden, wo die Kraft des Menschenarmes nicht mehr ausreicht, um schwere Arbeiten zu vollbringen. Aus jeder Tiefe hebt die Dampfmaschine die Mineralien zu Tage, die der Fleiß des Bergmannes mühsam gewonnen hat; die unterirdischen Wasser, welche diesen von der Arbeit zu vertreiben suchen, werden von ihr unermüdlich an die Oberfläche gefördert. Die großen Gebläse, welche rastlos Tag und Nacht die Gluth der Schmelzöfen anfachen, setzt die Dampfmaschine in Bewegung. Mit centnerschweren Hämmern führt sie dröhnende Schläge auf glühende Metallmassen, und nöthigt diese, zwischen raschlaufenden Walzen die verschiedensten Formen anzunehmen. Tritt der Laie in die Säle einer der großen Spinn- und Webereien, wie die Neuzeit deren so manche geschaffen hat, und sieht tausende von Spindeln die feinsten Fäden spinnen, und hunderte von Weberschiffchen emsig hin und her schnurren, so wird er mit gerechtem Staunen die Dampfmaschine betrachten, die mit gewaltigem Arme gleichzeitig so zahlreiche Arbeiten verrichtet. Aber nicht nur den materiellen, auch den geistigen Bedürfnissen ist die Dampfmaschine dienstbar. Sie macht es möglich, daß eine einzige Presse in einer Stunde zwanzig tausend Bogen druckt. Und soll ich noch daran erinnern, wie die Dampfmaschine täglich einen Verkehr unter den Menschen vermittelt, von dessen Ausdehnung die früheren Zeiten gar keine Ahnung hatten. Tausende von Dampfschiffen befahren die Flüsse und Meere. Mit Wind und Wellen kämpfend verfolgt das Dampfboot seinen Weg von einem Continent zum andern. Die Strömung der Flüsse wird von ihm überwunden, und ihm als Führer folgen die schwerbeladenen Schleppkähne. Mit der Schnelligkeit des Vogelfluges durcheilt der Dampfwagen die Länder, und rückt Städte einander vor die Thore, welche früher durch ganze Tagereisen getrennt waren. Eine beständige, aber friedliche Völkerwanderung ist durch die Dampfschiffe und Eisenbahnen

Digitized by Google

hervorgerufen worden. Die Menschen kommen untereinander in vielfachere Berührung, und die Produkte des Bodens und Gewerbfleißes, wie die Erzeugnisse geistiger Thätigkeit werden im regsten Wechselverkehre ausgetauscht.

Es wäre leicht, noch durch weitere zahlreiche Beispiele den tiefgreifenden Einfluß darzuthun, den die Benutzung der Dampfkraft auf unser ganzes heutiges Leben ausübt. Das oben Gesagte, und mehr noch das, was sich Jedem, der beobachtend seinen Blick auf das um ihn Vorgehende richtet, täglich darbietet, wird indeß vollständig genügen, um bei jedem Gebildeten den Wunsch zu erwecken, mit der Erfindung und mit der Einrichtung und Thätigkeit einer Maschine näher bekannt zu werden, deren bedeutende Wirkungen er allenthalben vor Augen hat.

Dem Zwecke dieses ganzen Werkes, Einsicht zu verschaffen in die Gesetze der Natur und in die Anwendungen, die der Menschengeist von denselben gemacht hat, wird auch der nachfolgende Aufsatz zu dienen suchen. Die engen räumlichen Grenzen, welche demselben gezogen sind, machen es aber zur Nothwendigkeit, überall nur das Wesentliche und allgemein Wissenswerthe zu berücksichtigen. Zu dem Verständniß einer jeden Erfindung trägt es, wie wohl allgemein anerkannt ist, ganz besonders viel bei, wenn nicht nur das schließliche Ergebniß der Erfindung beschrieben, sondern wenn dieselbe von den ersten Anfängen an verfolgt und auf den Hauptstufen ihrer Entwickelung näher ins Auge gefaßt wird. Es soll daher auch im Folgenden eine besondere Aufmerksamkeit darauf verwandt werden, in kurzen aber möglichst deutlichen Umrissen sowohl die Keime, als wie die Reihe glänzender Erfindungen darzulegen und zu erörtern, aus denen und durch welche die Dampfmaschine nach und nach zu einer der Hauptstützen unserer ganzen heutigen Gewerbs- und Verkehrsverhältnisse geworden ist. Indem wir dem Faden der Geschichte folgen, werden sich von selbst Gelegenheiten darbieten, näher auf die Einrichtung und die Thätigkeit der verschiedenen Arten der Dampfmaschine und ihrer einzelnen Theile einzugehen.

In den letztverflossenen dreißiger und vierziger Jahren war unter den Männern der Wissenschaft auf dem Festlande, und besonders in Frankreich, das eigenthümliche Bestreben vorhanden, die Erfindung der Dampfmaschine zu einer möglichst alten zu machen. Während einige wenigstens nur den Nachweis versuchten, daß die ersten Spuren der Dampfmaschine etwa hundert Jahre vor dem Beginn unserer Zeitrechnung zu suchen seien, glaubten andere bis zur Zeit des Pyramidenbaues im alten Egypten zurückgehen zu müssen. Es ist schwer zu sagen, aus welcher Ursache man jenes Bestreben eigentlich herleiten soll. Ob dasselbe durch den Wunsch hervorgerufen wurde, durch Zuschreibung eines großen Alters die Erfindung der Dampfmaschine gleichsam ehrwürdiger zu machen, oder ob man das Verdienst derselben den neuern Völkern dadurch entziehen wollte — diese Frage dürfte nicht leicht zu entscheiden sein. Der Erfolg jenes Strebens kann dagegen nur als ein unglücklicher bezeichnet werden, indem er sehr dazu mitgewirkt hat, die Geschichte der Dampfmaschine zu verwirren und zu trüben. Eine unbefangene Prüfung aller einschlagenden Nachrichten und Thatsachen läßt aber keinen Zweifel darüber, daß sowohl das Alterthum, wie auch das ganze Mittelalter zur Erfindung der Dampfmaschine Nichts beigetragen haben. Es ist hier nicht der Ort, die Richtigkeit dieser Behauptung durch eine Kritik der betreffenden Original-Mittheilungen näher zu begründen; indeß werden schon folgende Bemerkungen hinreichen, um jene deutlich erkennen zu lassen.

Digitized by Google

Das Alterthum hatte fast gar keine Kenntniß von den Eigenschaften des Wasserdampfes; ja es wurde dieser allgemein für gleichartig mit der atmosphärischen Luft gehalten, und glaubte man, daß sich das Wasser, wenn es verdunste, in Luft verwandele. Vollständig die Ansichten seiner Zeit über den Wasserdampf theilend, beschreibt Hero von Alexandrien (120 v. Chr.) eine Vorrichtung, bei welcher eine kleine hohle Metallkugel ebensowohl durch das Ausströmen von Wasserdampf als von erhitzter Luft in eine drehende Bewegung versetzt werden kann. An einen Vorzug des einen Verfahrens vor dem andern denkt Hero gar nicht, und ebensowenig daran, daß aus seinem Apparate eine nutzbare, Arbeit verrichtende Maschine hervorgehen könne. Ein solcher Gedanke kann aber auch von dem alten griechischen Physiker gar nicht erwartet werden. Im Alterthume war das Bedürfniß nach einer Kraftmaschine, wie wir sie heute in der Dampfmaschine besitzen, noch nicht in dem Maße vorhanden, um denkende Köpfe zur Erfindung einer solchen anzutreiben. Fast alle Erfindungen auf dem technischen Gebiete sind aber Kinder einer zwingenden Nothwendigkeit; wo diese noch fehlt, sind auch jene meist noch fern. Nach Hero sollten noch achtzehn Jahrhunderte verfließen, bevor die ersten erfolgreichen Schritte zur Erfindung der Dampfmaschine gemacht wurden. Ehe diese aber weiter besprochen werden können, muß noch zweier Männer gedacht werden, denen seit mehreren Jahren, aber unrechtmäßiger Weise, ein bedeutender Antheil an der Erfindung der Dampfmaschine zugeschrieben wird. Es sind dies Salomon de Caus und der Marquis von Worcester.

Hero v. Alexandrien.

Im Jahre 1813 machte der französische Bergingenieur Baillet auf ein von de Caus verfaßtes Werk aufmerksam, in welchem er die ersten Ideen über die Dampfmaschine wollte gefunden haben, und auf welches gestützt er glaubte seinen Landsleuten die Ehre der Erfindung dieser Maschine zusprechen zu können. Ehe ich die betreffende Stelle jenes Werkes näher anführe, sei es mir erlaubt, einiges über das Leben seines Verfassers zu sagen.

Salomon de Caus wurde 1576 geboren, wahrscheinlich in einer Stadt der Normandie. In seiner Jugend beschäftigte ihn besonders die Malerei, so wie das Studium der alten Sprachen und der Mathematik; eine große Vorliebe zog ihn zur Mechanik hin, und machte ihn zum Ingenieur und Architekten. Zu seiner weiteren Ausbildung besuchte er Italien und England, und trat hier in die Dienste des Prinzen von Wales. Im Auftrage des letzteren schmückte er den Garten des Palastes zu Richmond mit Grotten und Wasserkünsten. Zugleich unterrichtete de Caus als Zeichenlehrer die jugendlich schöne Prinzessin Elisabeth, Jacob I. einzige Tochter. Als diese 1613 den Pfalzgrafen Friedrich V., den späteren unglücklichen Böhmenkönig, heirathete, erlaubte sie ihrem Lehrer, sie nach Deutschland zu begleiten. Hier arbeitete er als pfalzgräflicher Architekt an der Vergrößerung des Heidelberger Schlosses, und legte bei demselben Gärten an, deren Schönheit in ganz Deutschland gepriesen wurde, bis sie, wie so vieles Andere, von seinen eigenen Landsleuten bei ihren räuberischen Einfällen in die Pfalz verwüstet wurden. Wahrscheinlich der Wunsch, die lang entbehrte Heimath, la belle France, noch einmal wiederzusehen, bestimmten de Caus (1623), seine Stelle am pfalzgräflichen Hofe aufzugeben und nach Frankreich zurückzukehren. Wie auf der Rückseite des von ihm in Heidelberg befindlichen Bildes bemerkt ist, wäre er im Jahre 1630 gestorben.

Salomon de Caus.

Während seines Aufenthaltes in Heidelberg (1615) ließ de Caus bei

Digitized by Google

dem Buchhändler Norton in Frankfurt ein Buch erscheinen unter dem Titel: „Die Ursachen der bewegenden Kräfte, nebst verschiedenen ebenso nützlichen als unterhaltenden Maschinen.“ Dieses Buch, welches Ludwig XIII. von Frankreich gewidmet ist, zerfällt in drei Abschnitte. In dem ersten derselben nennt der Verfasser einige Mittel, um Wasser auf eine Höhe zu heben, und beschreibt dann unter der Ueberschrift: „das Wasser kann mit Hülfe des Feuers höher als sein Spiegel getrieben werden,“ folgende Vorrichtung. Eine hohle Metallkugel wird zum Theil mit Wasser gefüllt, und ein bis nahe zum Boden gehendes Rohr dicht in der Wandung derselben befestigt, so daß mit Ausnahme der oberen Mündung des Rohres die ganze Kugel fest verschlossen ist. Wird nun die Kugel dem Feuer ausgesetzt, so treiben die sich in ihr bildenden Dämpfe das eingefüllte Wasser zu dem Rohre hinaus. Einen nützlichen Zweck kann diese Vorrichtung gar nicht erfüllen, und erwähnt auch de Caus eines solchen mit keinem Worte. Trotzdem hat man fast zweihundert Jahre nach seinem Tode geglaubt, ihm wegen jener von ihm beschriebenen Vorrichtung, und zwar nur wegen dieser, eine Stelle unter den Erfindern der Dampfmaschine anweisen zu müssen. Die für de Caus erhobenen Ansprüche würden indeß wohl nur geringe Beachtung gefunden haben, wenn nicht Arago, der berühmte Physiker, ihnen seinen mächtigen Schutz hätte angedeihen lassen. Nachdem derselbe in seinem (1828) veröffentlichten Aufsatz über die Erfindung der Dampfmaschine den Apparat von de Caus eine wirkliche, zum Wasserfördern brauchbare Dampfmaschine genannt hatte, schien das Verdienst des alten normannischen Ingenieurs keinem Zweifel mehr zu unterliegen. Die warme und herrliche Begeisterung, zu welcher Arogo sich, wie seine Gedächtnißreden an vielen Stellen zeigen, so leicht hinreißen läßt, wo er wirkliche Verdienste verkannt wähnt, ließ ihn sich auch mit Eifer seines Landsmannes annehmen, indem er dessen Aussprüche nicht ganz strenge getrennt hielt von seinen eigenen klaren Vorstellungen von der seitdem erfundenen Dampfmaschine.

Das Interesse für de Caus war einmal rege geworden, und da in Bezug auf ihn der streng geschichtliche Boden bereits verlassen war, so darf man sich kaum wundern, wenn es versucht wurde, ihn schließlich noch zum Märtyrer für seine angebliche Erfindung zu machen. Im November 1834 erschien in einer französischen Zeitschrift ein Brief der, vielen Männern ihrer Zeit nur zu bekannten, Marion Delorme an den Marquis von Cinq-Mars, worin sie diesem von einem Besuche erzählt, den sie in Gesellschaft des Marquis von Worcester im Bicêtre, einem Pariser Irrenhause, gemacht habe. Dort hätten sie hinter einem Gitter einen Mann gesehen mit bleichem Gesichte und wildhängendem Haar, der mit lauter Stimme behauptet habe, nicht irre zu sein, sondern eine Erfindung gemacht zu haben, um mittelst des Wasserdampfes Maschinen zu treiben und Wagen zu bewegen. Dieser Mann habe Salomon de Caus geheißen, und Richelieu, der allmächtige Minister, habe ihn dort hinbringen lassen, um vor seinem unaufhörlichen Bestürmen um Unterstützung seiner Pläne Ruhe zu haben. Dieser Brief erregte bedeutendes Aufsehen, und es wurde längere Zeit nicht bemerkt, daß er nothwendig gefälscht sein müsse. Da de Caus 1630 gestorben ist, so kann er sich 1641 nicht im Bicêtre befunden haben, welches außerdem zu jener Zeit gar kein Irrenhaus, sondern ein Aufenthalt für alte Invaliden war. Endlich hat de Caus stets in einem freundlichen Verhältniß zu Richelieu gestanden, dem er (1624) auch eine Schrift über Sonnenuhren widmete, und bei dieser Ge-

Digitized by Google

legenheit dem Cardinal für erzeigte Wohlthaten dankt. Die ganze Erzählung von dem Märtyrerthum des de Caus ist als ein Märchen zu betrachten, welches die Geschichte verwerfen muß. Ehe noch die Unechtheit jenes Briefes entdeckt war, war sein Inhalt bereits als Vorwurf eines Gemäldes benutzt worden. Eine der großen Ausstellungen im Louvre zeigte ein Gemälde von Lecurieux, welches hinter Eisengittern den unglücklichen de Caus erblicken läßt, wie er den von der schönen Marion Delorme begleiteten Marquis von Worcester von der Wahrheit seiner Vorstellungen und Aussagen zu überzeugen sucht. Manchem Leser ist dieses Bild vielleicht erinnerlich durch den Holzschnitt, welchen der Gubitz'sche Volkskalender davon brachte. Die eigenthümliche Weise, in welcher man Salomon de Caus, lange nach seinem Tode, nie besessene Verdienste beilegt und wie diese ausgeschmückt und gefeiert werden, läßt recht lebhaft die Gefahr erkennen, die für geschichtliche Untersuchungen jede Berücksichtigung der Phantasie und Begeisterung in sich birgt.

Marquis von Worcester.

Die Engländer haben sich eine andere Persönlichkeit ausgesucht, welcher sie den ehrenvollen Titel eines ersten Erfinders der Dampfmaschine geben. Bei ihnen gilt als solcher Edward Somerset, Marquis von Worcester, der unter Cromwell und zur Zeit der beiden letzten Könige aus dem Hause Stuart lebte. Das Anrecht auf jene große Erfindung wird ihm von ganz England mit überraschender Einstimmigkeit zuerkannt; die ersten Gelehrten des Landes sind hierin nicht anderer Ansicht, wie der einfache Arbeiter, dem eine Dampfmaschine seine Drehbank oder seinen Webstuhl treibt. So sagt der berühmte Professor Robison: „Die Feuermaschine wurde ohne allen Zweifel zum ersten Male von dem Marquis von Worcester erfunden, unter der Regierung Carl II." Und in einem Werke, welches ein Verein bedeutender englischer Ingenieure (1842) herausgab, heißt es: „Ohne allen Zweifel verdankt man der Erfindung des Marquis von Worcester die ersten Dampfmaschinen, welche einer Anwendung fähig waren." Sieht man nun die Thatsache näher an, auf welche hin dem Marquis so viele Anerkennung zu Theil geworden ist, so erscheint diese letztere fast räthselhaft. Worcester, der ein sehr unstetes Leben geführt hat, und in die politischen Wirren seiner Zeit tief verflochten war, trat auch mit einigen schriftstellerischen Versuchen hervor. So gab er besonders (1663) in London ein Buch heraus, in welchem er sehr flüchtig hundert Erfindungen beschreibt, welche er entweder selbst gemacht oder doch wenigstens verbessert haben will. In der acht und sechzigsten Erfindung erwähnt er einer Vorrichtung, um das Wasser mit Hülfe des Feuers auf eine Höhe zu heben. Die Beschreibung derselben ist aber so kurz und unklar, daß es bisher noch Niemandem gelungen ist, sich eine deutliche Vorstellung von derselben zu machen. Bei allen Versuchen englischer Ingenieure, den Worcester'schen Apparat durch eine Zeichnung darzustellen, mußten stets ganz fremde, von der jetzigen Dampfmaschine entlehnte Vorstellungen zu Hülfe genommen werden. Ob Worcester seine Maschine jemals ausgeführt hat, ist höchst zweifelhaft; das ihm vom Parlament bewilligte Patent wird auffallender Weise bloß auf seine Versicherung hin ertheilt, daß er die erwähnte Maschine erfunden habe. Jeder Unbefangene wird bei genauer Prüfung aller betreffenden Nachrichten eingestehen müssen, daß Worcesters Verdienste um die Dampfmaschine ganz und gar eingebildete sind. Von allen seinen Landsleuten hat dies aber nur ein einziger, Robert Stuart in seiner „Geschichte der Dampfmaschine", öffentlich eingeräumt. Die anderen englischen Schriftsteller lassen dagegen das angebliche Verdienst Worcester's

Digitized by Google

immer noch nicht fallen. So sagt neuerdings wieder Macaulay in seiner Geschichte von England: „Der Marquis von Worcester hatte kürzlich die Spannkraft einer durch Wärme dampfförmig gemachten Flüssigkeit beobachtet. Nach manchen Versuchen war es ihm geglückt, eine noch rohe Dampfmaschine zu construiren, welche er eine Feuer-Wasser-Maschine nannte, und für ein bewunderungswürdiges und kräftiges Mittel, Bewegung zu erzeugen, ausgab. Aber der Marquis wurde für einen Narren gehalten, und war als Papist bekannt. Seine Erfindungen fanden daher keine günstige Aufnahme. Seine Feuer-Wasser-Maschine möchte vielleicht als Stoff für eine Sitzung der Königlichen Gesellschaft, haben dienen können, zu irgend einem praktischen Zwecke wurde sie nicht gebraucht." Wie höchst achtungswerth auch das Streben ist, das Verdienst eines Anderen hervorzuziehen und aufrecht zu erhalten, so sollte doch der Umstand, daß der Schützling ein Landsmann ist, die nationale Eitelkeit nie veranlassen, jenes Streben so weit auszudehnen, daß dadurch die geschichtliche Wahrheit beeinträchtigt wird. Hinsichtlich mancher der so genannten Erfinder der Dampfmaschine ist dies leider nur zu sehr geschehen, in Frankreich mit de Caus, in England mit Worcester. Mehrere andere Namen, die man ebenfalls versucht hat mit der Erfindung der Dampfmaschine in Verbindung zu bringen, verdienen gar nicht erwähnt zu werden.

Bis zur Mitte des siebzehnten Jahrhunderts war noch kein einziger wirklich fördernder Schritt zur Herstellung einer brauchbaren Dampfmaschine geschehen. Man wußte nur, daß die Dämpfe, welche sich in geschlossenen Gefäßen aus darin erhitztem Wasser entwickeln, eine bedeutende Spannkraft besitzen, vermöge welcher sie auf die Wände des Gefäßes einen starken Druck ausüben. Im Uebrigen wurden die Dämpfe noch immer nicht deutlich von der Luft unterschieden, und von ihren sonstigen Eigenschaften hatte man gar keine genauere Kenntniß. Indeß wurde der Wunsch, neben den schon lange allgemein verbreiteten Windmühlen und Wasserrädern noch eine neue, möglichst mächtige Kraftmaschine zu besitzen, immer lebhafter. Besonders verlangte der täglich an Ausdehnung zunehmende Bergbau dringend nach einer Maschine, welche die sich in der Tiefe sammelnden Wasser besser an die Oberfläche schaffen könne, als es die vorhandenen Maschinen vermochten. Daß dieser Zweck durch eine Benutzung der Spannkraft des Wasserdampfes erreicht werden könne, wurde von Manchen gleichsam geahnt, denen freilich die anzuwendenden Mittel noch gänzlich unbekannt waren. Es wird nach dem eben Gesagten nicht weiter auffallen, daß man bei dem Bemühen, die Dampfkraft nutzbar zu machen, anfänglich fast nur auf solche Mittel sann, welche sich bloß zur Wasserhebung eignen.

Da man zu jener Zeit schon wußte, daß eingeschlossene Dämpfe einen bedeutenden Druck ausüben können, so war auch die Möglichkeit vorhanden, gestützt auf jene Kenntniß, eine brauchbare Dampfmaschine zu erfinden. Eine solche hätte eine Hochdruckmaschine werden müssen, deren Einrichtung einfacher ist, als die aller anderen Dampfmaschinen. Indeß wurde eine derartige Maschine nicht damals, sondern erst dann erfunden, als bereits weit zusammengesetztere Dampfmaschinen bekannt und in Gebrauch waren. Auf den ersten Blick könnte dies befremden. Die Geschichte jeder Erfindung zeigt aber eine ganz ähnliche Erscheinung. Anfänglich werden immer die complicirtesten Einrichtungen und Verfahrungsweisen ersonnen, und erst aus diesen entstehen nach und nach die einfacheren und scheinbar nächstliegenden. Die Dampfmaschine hat hiervon keine Ausnahme gemacht. Bei den ersten Ma-

Digitized by Google

schinen dieser Art spielte die Spannkraft des Dampfes eine bloß untergeordnete Rolle, sie war nur das Mittel, um die Wirkung einer anderen Kraft, des Luftdruckes, zu ermöglichen.

Entdeckung des Luftdruckes.

Es war eine der glänzendsten Entdeckungen, welche die Physik jemals gemacht hat, als sie um die Mitte des siebzehnten Jahrhunderts nachwies, daß die Luft ein bestimmtes Gewicht habe und in Folge dessen auch auf alle Körper einen Druck ausübe. Diese Thatsache hatte deßhalb so lange unbemerkt bleiben können, weil die Luft jeden Körper allseitig umgiebt, und daher der von ihr ausgeübte Druck erst dann fühlbar wird, wenn es gelingt, einen Körper an einem Theile seiner Oberfläche von jenem Drucke zu befreien; bis dahin besaß man aber kein Mittel, die Luft aus einem Raume zu entfernen, ihn luftleer zu machen. Ja, man hielt dies sogar für gänzlich unmöglich. Nach einer noch aus dem Alterthume stammenden Ansicht glaubte man nämlich, die Natur habe einen unbesiegbaren Abscheu vor dem Leeren, den sogenannten horror vacui. Dieser sollte z. B. die Ursache sein, daß das Wasser in der Saugröhre einer Pumpe in die Höhe steige, indem die Natur keine Leere zwischen dem Kolben und der Wasseroberfläche im Rohre gestatte. Ein an sich höchst einfaches Ereigniß war bestimmt, diese falsche, aber durch jahrhunderte langes Bestehen mächtig gewordene Ansicht umzustoßen. Im herzoglichen Palaste zu Florenz waren neue Pumpen eingerichtet worden, die sich als unbrauchbar erwiesen, indem das Wasser in der Saugröhre nicht über 32 Fuß hoch steigen wollte, was für die Thätigkeit der Pumpen nicht genügte. Der große Galiläi wurde um die Ursache dieser eigenthümlichen Erscheinung befragt. Nachdem er von den Pumpenmachern erfahren hatte, daß dieselbe jedesmal eintrete, wenn das Saugrohr einer Pumpe eine zu große Länge habe, glaubte er jene Erscheinung durch die Annahme erklären zu können, daß das Gewicht einer Wassersäule von mehr als 32 Fuß Länge zu bedeutend sei, um von dem unteren Ende der Säule noch getragen zu werden. Daher reiße denn das obere Ende der Wassersäule von dem Kolben ab, ähnlich wie ein horizontal gespanntes Seil endlich durch sein eigenes Gewicht zerreiße, wenn seine Länge zu groß genommen werde. Diese Erklärung war jedoch nicht die richtige; eine solche zu finden war Torricelli vorbehalten. Als dieser in Rom von dem Vorfalle in Florenz hörte, kam ihm der glückliche Gedanke, daß es der Druck der Luft auf die Oberfläche des Wassers sei, welcher dasselbe in die Saugröhre einer Pumpe hineintreibe. Wäre seine Ansicht richtig, so schloß Torricelli, und könne der Luftdruck einer Wassersäule von 32 Fuß Höhe das Gleichgewicht halten, so müsse er einer Säule von Quecksilber das Gleichgewicht halten können, welche nahe $2^1/_3$ Fuß oder 28 Zoll hoch sei, indem ein Raumtheil Quecksilber 13,6 mal so viel Gewicht hat, als ein gleicher Raumtheil Wasser. Er füllte daher eine etwa 3 Fuß lange, an einem Ende geschlossene Glasröhre ganz mit Quecksilber, verschloß das offene Ende mit dem Finger und tauchte dasselbe so in ein Gefäß mit Quecksilber ein. Zog er nun den Finger von der Oeffnung weg, so trat ein Theil des Quecksilbers aus dem Rohre heraus, und zwar stets soviel, daß das in demselben bleibende eine Säule von 28 Zoll Höhe bildete. Ueber derselben war in der Röhre ein in Bezug auf Luft ganz leerer Raum. Torricelli sah so seine Ansicht vom Drucke der Luft glänzend bestätigt. Den Apparat, welchen er ersonnen hatte, um sich Gewißheit zu verschaffen, ist das heutzutage allgemein bekannte Barometer, in welchem er der Wissenschaft eines der wichtigsten Instrumente schenkte.

Digitized by Google

Die neu gewonnene Erkenntniß hatte indeß noch manche Anfechtung zu erleiden. Das Vorhandensein eines luftleeren Raumes, die Möglichkeit einen solchen, wie doch Torricelli wirklich gethan hatte, herzustellen, wurde anfänglich von allen Seiten abgeleugnet. Selbst Blaise Pascal, dieser Mann von seltener Geisteskraft, wollte, als er den Torricelli'schen Versuch wiederholt hatte, die Wirkung des Luftdruckes zuerst nicht darin erkennen, sondern glaubte die Erscheinung dadurch erklären zu können, daß er annahm, die Natur habe zwar einen Abscheu vor dem Leeren, aber dieser habe eine Grenze, über welche hinaus er nicht wirken könne. Fortgesetztes Nachdenken und mannichfach abgeänderte Versuche erschütterten jedoch Pascal's anfängliche Ansicht. Endlich fand er ein geniales Mittel, um seine noch übrigen Zweifel mit einem Male zu lösen. Wenn das Gewicht der auf der Erdoberfläche ruhenden Luftmasse wirklich die Kraft wäre, welche im Barometer die 28 Zoll lange Quecksilbersäule trage, so müsse, behauptete Pascal, die Länge dieser Säule abnehmen, wenn das Barometer auf die Spitze eines Berges gebracht werde, indem auf dieser eine weniger hohe und also auch eine Luftsäule von geringerem Gewichte laste, als auf einem Orte am Fuße des Berges. Gegen diese Schlußfolge war Nichts einzuwenden, und ein betreffender Versuch daher vom höchsten Interesse. Pascal selbst konnte sich damals wegen vielfacher Geschäfte nicht von Paris entfernen, und so bat er denn in einem Briefe vom 15. November 1647 seinen Schwager Perier, eine Besteigung des 3000 Fuß hohen Puy-de-Dôme zu unternehmen, und die Höhe der Quecksilbersäule im Barometer sowohl am Fuße als auf der Spitze dieses Berges genau zu messen. Nachdem die Ausführung dieses Unternehmens manche Verzögerung erlitten hatte, führte Perier endlich am 20. September 1648 jene denkwürdige Bergbesteigung aus. Die Quecksilbersäule, welche am Fuße des Berges eine Höhe von 26 Zoll $3^1/_2$ Linien hatte, stand auf der Bergspitze nur noch 23 Zoll 2 Linien hoch. Der Beweis für das Gewicht der Luft und für das Vorhandensein des Luftdruckes war somit unwiderleglich geführt, und alle Gegenreden mußten verstummen. Pascal hatte sich für seinen Lorbeerkranz ein neues Reis gepflückt.

Erfindung der Luftpumpe.

Daß ein luftleerer Raum möglich sei, war durch den Torricelli'schen Versuch dargethan. Noch aber besaß man kein Mittel, um beliebige Gefäße, deren Wandungen nur für Luft undurchdringlich sind, luftleer zu machen. Ein solches suchte Otto von Guericke, der Bürgermeister von Magdeburg. Nach langen und mühevollen Versuchen gelang es um das Jahr 1650 dem deutschen Physiker, den Apparat zu ersinnen, welcher heute unter dem Namen Luftpumpe allgemein bekannt ist, und seinem Erfinder ein ruhmvolles Andenken sichert. Von allen Versuchen, welche mit der Luftpumpe ausgeführt wurden, zog keiner so sehr die allgemeine Aufmerksamkeit auf sich, als der mit den sogenannten Magdeburger Halbkugeln. Zwei starke metallene Halbkugeln werden hierbei mit ihren glatt geschliffenen und eingefetteten Rändern gegen einander gedrückt, und nun wird aus der so gebildeten Kugel die Luft ausgepumpt. Da dann im Innern der Kugel gar kein Luftdruck mehr vorhanden ist, so preßt der Druck der äußeren Luft die Halbkugeln mit großer Kraft gegeneinander. Bei einem Versuche, welchen Otto von Guericke mit einer Kugel von einer Elle Durchmesser machte, zogen an jeder der beiden Halbkugeln zwölf Pferde, ohne im Stande zu sein, dieselben von einander zu reißen. Durch diesen Versuch war die große Mächtigkeit des Luftdruckes einem Jeden anschaulich und gleichsam fühlbar gemacht.

Digitized by Google

Mancher Leser fragt vielleicht, warum in einem Aufsatze über die Dampfmaschine die Entdeckung des Luftdruckes besprochen wird. Auf diese Frage wird das Folgende eine genügende Antwort geben, indem sich zeigen wird, daß jene Entdeckung im engsten Zusammenhange steht mit der Erfindung der Dampfmaschine. Es ist leicht begreiflich, daß, sobald einmal die Existenz und die Größe des Luftdruckes allgemeiner bekannt wurden, man in ihm die neue Triebkraft glaubte finden zu können, nach welcher man im Interesse der Industrie, und besonders des Bergbaues, so eifrig suchte. Manche Vorzüge, welche diese Kraft haben würde, lagen auf der Hand. Sie kann an jedem Orte der Erde hervorgerufen werden, wo es gelingt, einen luftleeren Raum zu erzeugen. Ihre Größe ist sehr beträchtlich, indem die Luft auf jede Fläche von 1 Quadratfuß Größe einen Druck von nahe 2000 Pfund ausübt. Aber der Luftdruck setzt, um seine Wirkung äußern zu können, einen luftleeren Raum voraus. Ein solcher konnte nun freilich mittelst der Luftpumpe hergestellt werden, allein dies Mittel würde dem beabsichtigten Zweck durchaus nicht entsprochen haben. Die Herstellung einer Luftleere auf diesem Wege erfordert nämlich eine gar noch größere Arbeit, als der durch die Luftleere in Thätigkeit gesetzte Luftdruck wieder hervorzubringen vermag. An eine Zunutzemachung des letzteren ist also hierbei nicht zu denken. Sollte dies gelingen, so mußten andere Mittel gefunden werden, um einen Raum luftleer zu machen. Diese zu entdecken wurde daher das Streben vieler der ersten Gelehrten der damaligen Zeit.

Nutzbarmachung des Luftdruckes.

Während des Jahres 1673 lebte der Holländer Huygens, einer der größten Männer, welche das siebzehnte Jahrhundert hervorgebracht hat, in Paris, und war hier damit beschäftigt, eine auf den Luftdruck gegründete Kraftmaschine zu erfinden. Das Mittel, einen luftleeren Raum herzustellen, glaubte er in dem Schießpulver gefunden zu haben. Sein Apparat bestand aus einem metallnen, oben offenen und unten geschlossenen Cylinder, in welchem sich ein luftdicht schließender Kolben auf und nieder bewegen konnte. An einer oder mehreren Stellen der Cylinderwandung waren nach außen sich öffnende Ventile angebracht. Durch eine verschließbare Oeffnung konnte eine kleine Menge Pulver in den Cylinder gebracht werden. Wurde dieses nun entzündet, während der Kolben am obern Cylinderende festgehalten wurde, so trieben die sich entwickelnden Pulvergase die im Cylinder enthaltene Luft mit Heftigkeit zu den erwähnten Ventilen hinaus, worauf diese sich gleich wieder schlossen. Es gelang aber nicht, auf diese Weise eine Luftleere herzustellen, nur eine bedeutende Luftverdünnung konnte in dem Cylinder hervorgebracht werden. Diese veranlaßte zwar den äußern Luftdruck, den Kolben mit einer gewissen Kraft in dem Cylinder niederzutreiben, aber der ganze Apparat hatte doch manche nicht zu beseitigende Mängel, welche ihn für praktische Verwendungen ungeeignet machten.

Pulvermaschine.

Bei diesen Versuchen wurde Huygens von einem jungen Manne unterstützt, dem es vorbehalten war, in späteren Jahren das Mittel zur Wirksammachung des Luftdruckes zu finden, nach welchem sein großer Meister vergeblich suchte. Dieses Mittel bestand in einer ganz neuen Anwendung des Wasserdampfes, und der Mann, welcher durch die Entdeckung desselben seinen Namen für alle Zeiten fortleben machte, war Denis Papin. Derselbe war den 22. August 1647 zu Blois geboren, wo sein Vater Arzt war. Diesem Stande widmete sich auch der Sohn, über dessen Kindheit und Jugend indessen Nichts bekannt ist. Mit vier und zwanzig Jahren finden

Denis Papin.

Digitized by Google

wir Papin in Paris, seinen Beruf ausübend. Diesem wurde er jedoch bald untreu, und wandte sich ganz der Experimental-Physik und der praktischen Mechanik zu. Die Frau des Ministers Colbert, deren Vaterstadt ebenfalls Blois war, erbat Papin die Gunst, Huygens bei seinen Versuchen unterstützen zu dürfen. Eine kleine Schrift, die er um diese Zeit herausgab, verschaffte ihm die Achtung und Theilnahme der Gelehrten der französischen Hauptstadt. Es ist daher höchst auffallend und auch nicht weiter aufgeklärt, Papin zu Ende des Jahres 1675 plötzlich Paris verlassen und sich nach England wenden zu sehen. Hier angekommen hatte er den glücklichen Gedanken, sich Robert Boyle, dem berühmten Gründer der Königlichen Gesellschaft in London, vorzustellen. Boyle war damals gerade mit mannichfachen den Luftdruck betreffenden Versuchen beschäftigt, so daß es ihm sehr erwünscht war, in Papin einen ebenso einsichtsvollen als thätigen Mitarbeiter zu finden. Bei den Versuchen, welche nun von Boyle und Papin in den Jahren 1676, 77 und 78 gemeinschaftlich ausgeführt wurden, war besonders Papins geschickte Hand bei Anfertigung der verschiedensten Apparate von großem Werth. Seine Verdienste blieben denn auch nicht ungewürdigt und unbelohnt. Am 16. Dezember 1680 öffneten sich ihm die Thüren der Königlichen Gesellschaft in London, in welcher er sich bald eine geachtete Stellung errang. Im Jahre 1681 gab Papin eine Schrift über den von ihm erfundenen und nach ihm benannten Topf heraus. Dieser sollte dazu dienen, Fleisch in kurzer Zeit zu kochen, und es ermöglichen, auch aus den Knochen noch eine nahrhafte Substanz zu gewinnen. Ziemlich allgemein wird geglaubt, daß diese Erfindung Papins gleichsam der erste Schritt zu seiner späteren, die Dampfmaschine betreffenden Entdeckung sei. Diese Ansicht ist jedoch irrig. Papin dachte damals noch gar nicht daran, die Eigenschaften des Wasserdampfes für eine Kraftmaschine zu benutzen.

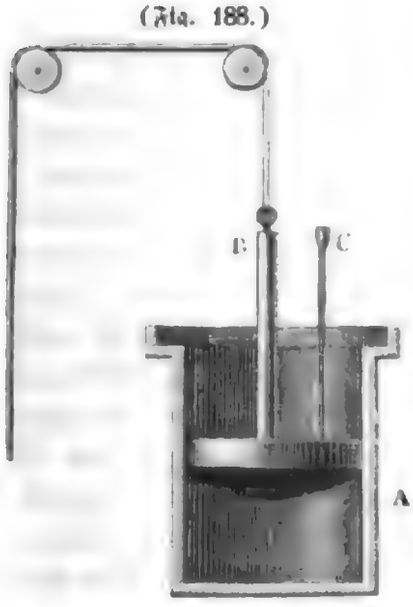
Um diese Zeit hielt sich in London der Ritter Sarroti auf, welcher vom Senate Venedig's beauftragt war, in der alten Dogenstadt eine Academie zu errichten und Mitglieder für dieselbe zu gewinnen. Den großen Versprechungen des Italieners lieh Papin ein wohl zu geneigtes Ohr, und ließ sich von ihm bestimmen, im Frühjahr 1681 nach Venedig überzusiedeln. Papin war aus sehr günstigen Verhältnissen ausgeschieden, um in noch bessere zu gelangen. Leider hatte er sich hierin getäuscht. Wenn auch sein wissenschaftlicher Ruf in Italien noch wuchs, so nahmen seine äußeren Mittel doch mehr und mehr ab. Dies veranlaßte ihn, nach einem zweijährigen Aufenthalte Venedig wieder zu verlassen und nach London zurückzukehren. Sein Empfang war hier jedoch nicht so, wie er ihn wohl erwartet hatte. Die Theilnahme seiner Freunde war während seiner Abwesenheit in solchem Maße erkaltet, daß er sich genöthigt sah, von der Königlichen Gesellschaft ein Jahrgehalt anzunehmen, wofür er in deren Auftrage Versuche auszuführen hatte. In dieser Zeit beschäftigte ihn besonders der Gedanke, den Luftdruck zur Fortpflanzung der Wasserkraft auf größere Entfernungen zu benutzen. Versuche, welche Papin mit seinem Apparate vor der Königlichen Gesellschaft anstellte, entsprachen indeß den gehegten Erwartungen nicht, sondern wurden nur die Veranlassung, daß sich des Erfinders eine gewisse Entmuthigung bemächtigte. Papin wünschte nach so mannichfachen Schicksalen nach Frankreich zurückzukehren, aber ihm, dem Reformirten, war sein Heimathland verschlossen, seit Ludwig XIV. in thörigtem Wahne das Edict von Nantes vernichtet hatte. So mußte er sich denn entschließen, auch ferner im Auslande eine gastliche

Digitized by Google

Stätte zu suchen. Da ihm der Aufenthalt in England verleidet war, so nahm er gern das Anerbieten, als Professor der Mathematik nach Marburg zu kommen, an, welches ihm der Landgraf Carl von Hessen (1687) machte. In Marburg verlebte Papin die nächsten zwanzig Jahre. Anfänglich beschäftigte ihn hier nochmals die Pulvermaschine, über welche er viele Jahre vorher die schon oben erwähnten Versuche in Gemeinschaft mit Huygens angestellt hatte. Während er sich wiederholt überzeugte, daß von derselben Nichts zu hoffen sei, kam ihm ein ganz neuer Gedanke, wie auf bessere Weise ein luftleerer Raum hergestellt werden könne.

Aus fremden und eigenen Erfahrungen war es Papin bekannt, daß es leicht ist, die Spannkraft des Wasserdampfes bis zu dem Grade zu steigern, daß dieselbe dem Luftdrucke das Gleichgewicht zu halten vermag. Diese Fähigkeit besitzt schon der Dampf, welcher sich aus siedendem Wasser entwickelt. Ebenso leicht aber, wie sich dem Dampfe Spannkraft ertheilen läßt, kann dieselbe auch wieder vollständig vernichtet werden, indem der Dampf durch Abkühlung in Wasser zurück verwandelt wird. Ob diese Eigenschaft des Wasserdampfes von Papin zuerst beobachtet wurde, ist wohl schwer zu entscheiden. Jedenfalls war er aber der Erste, welcher mit wirklich genialem Blicke erkannte, wie jene Eigenschaft zur Erzeugung einer Luftleere, und weiter zur Construktion einer Kraftmaschine benutzt werden könne. Der Aufsatz, in welchem Papin seine Idee darlegte und seine betreffenden Versuche mittheilte, erschien im Jahre 1690 im Augusthefte der Acta eruditorum Lipsiae unter der Ueberschrift: „Neues Verfahren, um bedeutende bewegende Kräfte zu billigem Preise zu erhalten." In demselben sagt Papin, nachdem er die Unzweckmäßigkeit der Pulvermaschine besprochen hat: „Ich habe daher versucht, auf einem andern Wege zu demselben Resultate zu gelangen. Da, wegen einer dem Wasser zukommenden Eigenschaft, eine kleine Menge dieser Flüssigkeit, wenn sie durch die Wirkung der Wärme in Dampf verwandelt wird, eine Spannkraft erhält, welche der der Luft gleichkommt, und hierauf durch die Abkühlung wieder in den flüssigen Zustand zurückkehrt, ohne das Geringste von ihrer Spannkraft zu behalten, so bin ich darauf geführt worden zu glauben, daß man Maschinen construiren könnte, bei welchen das Wasser, durch Anwendung einer mäßigen Wärme und ohne große Kosten, die vollkommene Luftleere hervorbringen würde, welche man mit Hülfe des Schießpulvers nicht erhalten kann." Papin beschreibt nun folgenden Apparat, mit welchem er seine Versuche angestellt hat. In einem unten geschlossenen, oben offenen metallnen Cylinder A, Fig. 188, bewegt sich ein dicht anschließender Kolben. In diesem befindet sich eine Oeffnung, welche durch Einschrauben der Stange C geschlossen werden kann. Mit dem Kolben ist die Stange B verbunden, von welcher aus ein über zwei Rollen geführtes Seil geht. Am oberen Ende des Cylinders kann der Kolben durch Vorschieben eines in die Stange B eingreifenden Riegels festgehalten werden. Soll nun der Apparat in Thätigkeit gesetzt werden, so wird durch die Oeffnung im Kolben eine kleine Menge

(Fig. 188.)



Digitized by Google

Wasser in den Cylinder geschüttet, und der Kolben soweit niedergedrückt, daß etwas Wasser aus jener Oeffnung heraustritt, worauf dieselbe mittelst der Stange C fest verschlossen wird. Wenn jetzt durch ein Kohlenfeuer der Cylinderboden erwärmt wird, so treiben die sich bildenden Dämpfe den Kolben in die Höhe. Ist derselbe oben angekommen, so wird er durch den erwähnten Riegel festgehalten und das Kohlenfeuer entfernt. Die nun stattfindende Abkühlung des Cylinders vernichtet die Spannkraft der in ihm enthaltenen Dämpfe, indem sie dieselben in Wasser verwandelt. Die untere Fläche des Kolbens erfährt dann keinen Druck mehr, während auf der oberen Fläche die Luft mit ihrem ganzen Gewichte lastet. Wird daher jetzt der den Kolben festhaltende Riegel zurückgeschoben, so wird jener durch den Luftdruck durch die ganze Länge des Cylinders hinab bewegt. Hierbei kann nun durch einen gleich langen Weg ein an das Seil angehängtes Gewicht in die Höhe gehoben werden, dessen Größe nahe gleich ist dem auf den Kolben wirkenden Luftdruck. Da der letztere pro Quadratfuß nahe 2000 Pfund beträgt, so kann z. B. bei einem Cylinder von 2 Fuß Durchmesser und 5 Fuß Höhe bei jedem Kolbenniedergang ein Gewicht von etwa 6000 Pfund 5 Fuß hoch gehoben werden. Ist der Kolben unten angelangt, so beginnt das Spiel von Neuem; das Wasser muß wieder in Dampf verwandelt, dieser dann abgekühlt werden, u. s. w.

Die Richtigkeit und Vortheilhaftigkeit des Prinzips, auf welchem der Papin'sche Apparat beruht, kann nicht angegriffen werden. Bei einer ganz geringen, gefahrlosen Dampfspannung ist man im Stande, eine fast beliebig große Kraft hervorzubringen, indem man nur dem Cylinder einen entsprechend großen Durchmesser zu geben braucht. Dennoch fand Papin's Vorschlag fast gar keine Beachtung. Es kam dies wohl hauptsächlich daher, weil sein Urheber für seine Idee gleichsam noch keinen passenden Körper gefunden hatte. Der Apparat, wie ihn Papin angab, war noch lange nicht ausgebildet genug, als daß die Industrie sich seiner hätte bedienen können. Für diese wird jede von der Wissenschaft gemachte Entdeckung erst dann wirklich fruchtbringend, wenn es gelingt, auch noch die Mittel aufzufinden, wodurch jene eine praktisch vortheilhafte Verwendung zuläßt. Das Scheitern der Hoffnung, welche Papin auf seine Erfindung gesetzt hatte, wirkte so niederschlagend auf ihn, daß er alle weiteren Versuche über die Nutzbarmachung der Dampfkraft aufgab. Erst im Jahre 1705 kehrte er wieder zu diesem Gegenstande zurück. Veranlaßt dazu wurde er von Leibnitz, der ihm aus England die Zeichnung einer die Dampfkraft nutzbar machenden Maschine schickte, welche dort ein Kapitain Savery vor Kurzem erfunden hatte. Obgleich das Prinzip dieser Maschine, von der weiter unten noch gesprochen werden wird, dem von Papin entdeckten bei weitem nachsteht, so wurde dieser doch an seiner eigenen trefflichen Erfindung durch den Umstand irre, daß jene Savery'sche Maschine in England einige Anwendung gefunden hatte. Papin überschätzte hierdurch die Brauchbarkeit derselben, und brachte sogar eine der Savery'schen ähnliche Maschine in Vorschlag. Widrige Schicksale mancherlei Art bewogen Papin im Jahre 1707 seine Stellung in Marburg aufzugeben und sich nochmals nach London zu wenden. Hier lebte er noch mehrere Jahre in fast ärmlichen Verhältnissen von einem kleinen Jahrgehalte, welches ihm die Königliche Gesellschaft gewährte. Sein Todesjahr, sowie der Ort, wo er eine Ruhestätte gefunden, sind nicht bekannt.

Papin war unstreitig ein Mann von unermüdlichem Forschungstriebe

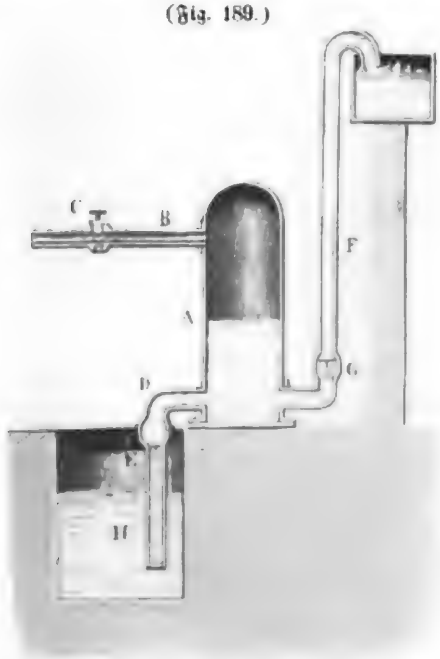
Digitized by Google

und dem regſten Eifer, durch ſeine Arbeiten Nützliches zu ſchaffen. Mit ſicherem Blicke, wie er nur dem Genie eigen iſt, fand er das Mittel, welches ihn hätte zu dem erſtrebten Ziele hinführen können. Daran, daß er dieſes dennoch nicht vollſtändig erreichte, iſt wohl eine gewiſſe Unbeſtändigkeit ſeines Weſens, und dann auch hauptſächlich der Umſtand Schuld, daß es ihm nicht vergönnt war, in ſeinem Vaterlande eine ruhige und geſicherte Stellung einzunehmen.

Savery's Maſchine.

Während Papin in Marburg mit der Erfindung einer neuen Kraftmaſchine beſchäftigt war, wurde die Nothwendigkeit, eine ſolche zu erhalten, in England immer dringender. Hier war die Ausbeute vieler Kohlengruben, und in Folge deſſen das Aufblühen mancher Gewerbszweige ernſtlich gefährdet, wenn es nicht gelang, ein neues und zweckmäßiges Mittel zu finden, die in England beſonders reichlichen Grubenwaſſer an die Oberfläche zu ſchaffen. Mit der Aufſuchung eines ſolchen beſchäftigte ſich ſeit längerer Zeit Thomas Savery, der ſich vom einfachen Bergmann zum Marinekapitain und Ingenieur heraufgeſchwungen hatte. Die Papin'ſchen Vorſchläge waren bald nach ihrer Veröffentlichung auch in England bekannt geworden, hatten ſich hier aber keiner günſtigen Beurtheilung zu erfreuen. Beſonders war es Robert Hooke, der berühmte Gelehrte und Secretär der Königlichen Geſellſchaft, welcher ſeine gewichtige Anſicht zu ihren Ungunſten in die Wagſchale warf. Er tadelte hauptſächlich und mit Recht die gänzlich unpraktiſche Anordnung, welche Papin ſeinem Apparate gegeben hatte, und die hierdurch bedingte außerordentliche Langſamkeit der Bewegung der Maſchine. Der Kolben konnte ſich nämlich in der Minute höchſtens einmal auf und nieder bewegen. Ueber der Kritik dieſer Fehler, deren Beſeitigung einem Manne von praktiſchem Blick nicht ſchwierig gefallen wäre, verlor Hooke das große von Papin gefundene Prinzip aus den Augen. Auf Savery, dem Papin's Arbeit bekannt war, übten die Hooke'ſchen Einwürfe einen ſolchen Einfluß, daß er einen zum Theil anderen Weg einſchlug, um durch Benutzung der Spannkraft des Dampfes Waſſer auf eine Höhe zu heben. Der hierzu von Savery erfundene Apparat hat im Weſentlichen folgende Einrichtung. A, Fig. 189, iſt ein ſtarkes metallnes Gefäß, in welches aus einem Dampfkeſſel durch das Rohr B Dämpfe eingeleitet werden können; der Hahn C dient dazu, die Verbindung zwiſchen dem Gefäße A und dem Dampfkeſſel beliebig zu unterbrechen und wieder herzuſtellen. In das Gefäß A mündet ferner noch ein Saugrohr D und ein Steigrohr F; erſteres hat bei E ein ſich nach innen, letzteres bei G ein ſich nach außen öffnendes Ventil. Die untere Oeffnung des Saugrohrs D befindet ſich unter der Oberfläche des Waſſers, welches gehoben werden ſoll. Es ſei nun

(Fig. 189.)



Digitized by Google

das Saugrohr und der größere Theil des Gefäßes A mit Wasser gefüllt. Läßt man dann durch das Rohr B Dampf in A einströmen, so wird dieser, wenn er die erforderliche Spannkraft hat, das Ventil E schließen und das in A befindliche Wasser durch das Ventil G und das Steigrohr F hinaustreiben. Ist das Wasser in A soweit gesunken, daß die Oeffnung des Rohres F noch eben bedeckt wird, so schließt man den Hahn C; das Gefäß A ist jetzt mit Dampf gefüllt. Geht derselbe nun durch Abkühlung in Wasser über, so entsteht in A ein luftleerer Raum. Hierdurch wird der äußere Luftdruck gezwungen, aus dem Behälter H wieder neues Wasser durch das Saugrohr in das Gefäß A hineinzutreiben. Läßt man jetzt wieder Dampf zutreten, so wiederholt sich der ganze eben beschriebene Vorgang. Die Abkühlung des Dampfes bewirkte Savery dadurch, daß er kaltes Wasser auf das Gefäß A fließen ließ.

Am 25. Juni 1698 erhielt Savery ein Patent auf seine Maschine, und hatte in demselben Jahre noch die Ehre, in Hamptoncourt einen Versuch mit derselben vor Wilhelm III. anstellen zu dürfen. Der Königlichen Gesellschaft in London zeigte er seine Maschine am 14. Juni 1699. Nachdem Savery an seinem Apparate noch einige Verbesserungen angebracht hatte, beschrieb er denselben in einer kleinen Schrift, welche (1702) unter dem Titel erschien: „Der Freund des Bergmannes." Für die Zwecke des Bergbaues war indessen die Savery'sche Maschine wegen der ihr anhaftenden Mängel nicht zu gebrauchen. Ein Hauptübelstand ist der, daß die Spannung des Dampfes mit der Höhe, auf welche das Wasser gehoben werden soll, in direktem Verhältniß zunehmen muß. Sollte das Wasser nur 60 Fuß hoch gehoben werden, so mußte der Dampf auf jedem Quadratfuß mit 4000 Pfund drücken, ein Druck, der bei der damaligen Unvollkommenheit der Apparate nicht überschritten werden durfte. Auch der Abstand der Wasserspiegel in den Gefäßen A und H darf höchstens 25 Fuß betragen. Ein anderer schlimmer Fehler besteht darin, daß der Dampf in unmittelbare Berührung mit dem zu hebenden kalten Wasser kommt, wodurch ein großer Theil desselben verdichtet wird und also nutzlos verloren geht. Einige Anwendung fand jedoch die Savery'sche Maschine zum Wasserheben in Schlössern, Treibhäusern und Gärten. — Wenn auch die Einrichtung, welche Savery seiner Maschine gegeben, und ihre Anwendbarkeit Vieles zu wünschen ließ, so muß doch dafür ihrem Erfinder volle Anerkennung zu Theil werden, daß er die bedeutenden Schwierigkeiten überwand, die sich der Verwirklichung eines neuen Gedankens entgegen stellen. Savery hat das nicht gering anzuschlagende Verdienst, die erste Dampfmaschine erfunden und ausgeführt zu haben, von welcher ein nützlicher Gebrauch gemacht werden konnte und auch wirklich gemacht wurde.

Newcomen's Maschine.

Eine von Savery's Maschinen war in die Nähe des Städtchens Dartmouth in Devonshire gekommen. Hier lebten damals zwei eng befreundete biedere Handwerker, der Schmied und Schlosser Thomas Newcomen und der Glaser John Cawley. Wenn sie ihr Tagewerk beendet und ihre Werkstätten geschlossen hatten, wanderten jene Beiden häufig zusammen hinaus, um die Thätigkeit der ihnen ganz neuen Maschine zu beobachten und zu bewundern. Newcomen besaß einige Kenntnisse, und pflegte als Landsmann von Robert Hooke diesen zuweilen über Gegenstände seines Gewerbes um Rath zu fragen. Daher forderte Cawley seinen Freund auf, dem berühmten Physiker auch verschiedene Ansichten mitzutheilen, zu welchen sie bei öfterer Besichtigung

Digitized by Google

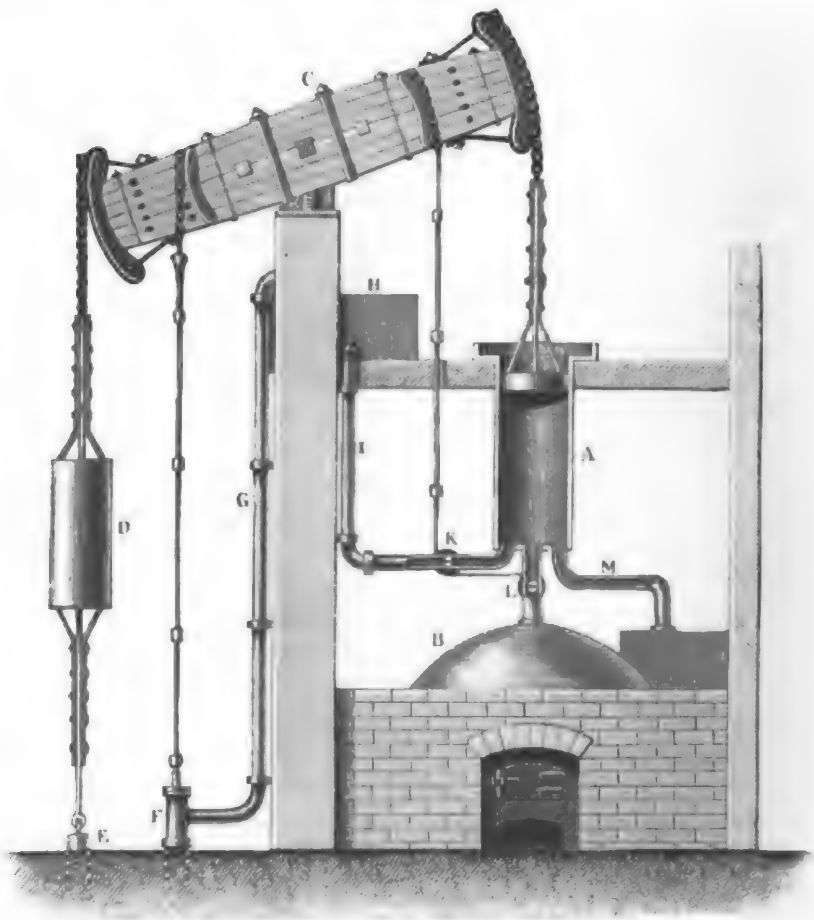
und Besprechung der Savery'schen Maschine gelangt waren. Während des Briefwechsels, welcher hierüber zwischen Newcomen und Hooke entstand, theilte dieser jenem die Ideen über die Anwendung des Wasserdampfes mit, welche Papin im Jahre 1690 zuerst veröffentlicht hatte. Diese Vorschläge des französischen Gelehrten fanden bei den beiden Freunden die lebhafteste Theilnahme, und sie glaubten im Stande zu sein, dieselben verwirklichen zu können. Hooke rieth auch diesmal wieder von weiteren Versuchen mit dem Papin'schen Apparate ab; zuletzt gab er jedoch zu, daß derselbe den beabsichtigten Zweck erfüllen würde, wenn es gelänge, die Luftleere im Cylinder plötzlich hervorzubringen. Die Einwendungen des berühmten Gelehrten machten jedoch auf die ehrsamen Meister keinen großen Eindruck, vielleicht weil ihre wissenschaftlichen Kenntnisse zu unbedeutend waren. Zu beklagen war dies in diesem Falle nicht, denn dadurch verloren die beiden Freunde auch nicht den Muth, ohne weiteres Hand an die Verwirklichung ihres Planes zu legen. In seiner Schmiede begann Newcomen ein Modell der projectirten Maschine zu fertigen. Ein kupferner Cylinder wurde gemacht, in welchem sich ein Kolben auf und nieder bewegen konnte. Der Dampf sollte aber nicht, wie bei Papin, in dem Cylinder selbst, sondern in einem besonderen Dampfkessel erzeugt werden. Um die Abkühlung des Dampfes zu beschleunigen, wollten die beiden Freunde dasselbe Mittel anwenden, dessen sich bereits Savery bediente: auf die äußere Cylinderwand sollte kaltes Wasser fließen. Es ist einleuchtend, daß diese Einrichtungen vor den von Papin vorgeschlagenen große Vorzüge besitzen. Nachdem das gute Gelingen der mit dem Modelle angestellten Versuche die Ausführbarkeit ihres Planes zu versprechen schien, wollten die beiden unternehmenden Handwerker sich auch die Früchte ihrer Arbeit durch ein Patent sichern. Gegen die Ertheilung eines solchen protestirte jedoch Savery, da die Anwendung von kaltem Wasser zur Abkühlung des Dampfes bereits als seine Erfindung anerkannt sei. Newcomen und Cawley, denen als Quäkern jeder Streit doppelt verhaßt war, entschlossen sich daher, mit Savery in Verbindung zu treten und gemeinschaftlich mit ihm ein Patent zu verlangen; dieses wurde ihnen denn auch (1705) bewilligt. Savery scheint dem neuen Unternehmen, vielleicht aus Vorliebe für seine eigene ältere Maschine, nur geringe Theilnahme geschenkt zu haben, welche bald sogar ganz erlosch. Auch die beiden anderen Genossen konnten einige Jahre lang nicht dazu kommen, ihre Maschine in großem Maßstabe auszuführen. Ihre gewöhnliche Beschäftigung als Schlosser und Glaser mochte den Grubenbesitzern wohl nicht Vertrauen genug einflößen, um sich zu einem Versuche mit der neuen Erfindung zu entschließen. Endlich (1712) that dies ein Herr Back aus Wolverhampton, und bestellte bei Newcomen und Cawley eine Maschine, welche zum Bewältigen der Wasser auf seiner Kohlengrube dienen sollte. Die Herstellung einer so großen Maschine war für die Erbauer mit bedeutenden Schwierigkeiten verbunden. Die Ueberwindung derselben gelang jedoch durch die Beihülfe geschickter Arbeiter; die fertige Maschine wurde an dem für sie bestimmten Orte aufgestellt und begann ihre Thätigkeit. Nachdem sie einige Tage gegangen hatte, fing der Kolben plötzlich an, seinen Niedergang in bedeutend kürzerer Zeit auszuführen. Als man nach der Ursache dieser auffallenden Erscheinung forschte, fand man im Kolben ein kleines Loch, welches jenes günstige Resultat veranlaßt hatte. Um nämlich ein Entweichen des Dampfes zwischen Kolben und Cylinder, welche Theile damals nur unvollkommen hergestellt

Digitized by Google

werden konnten, möglichſt zu verhüten, hatte man den Kolben mit einer Schicht Waſſer bedeckt. Dieſes drang nun durch jenes Loch tropfenweiſe in den Cylinder hinein und beförderte in ſehr wirkſamer Weiſe die Abkühlung des Dampfes. Von dieſer zufällig gemachten Erfahrung wußten die Erfinder gleich die richtige Anwendung zu machen. Anſtatt von außen Waſſer auf den Cylinder zu gießen, ſpritzten ſie daſſelbe von jetzt an in denſelben hinein. Nach dieſer weſentlichen Verbeſſerung war die Maſchine im Stande, 8 bis 10 Kolbenſpiele in der Minute zu machen.

Eine Maſchine der beſprochenen Art, gewöhnlich kurz eine Newcomen'ſche Maſchine genannt, hat nun im Weſentlichen folgende Einrichtung. Zwiſchen horizontal liegenden Balken iſt ein oben offener Cylinder A feſt aufgehängt, Fig. 190. Unmittelbar unter demſelben, und durch ein Rohr mit ihm in

(Fig. 190.)



Verbindung ſtehend, iſt der Dampfkeſſel B angebracht. Die auf- und niedergehende Bewegung des Kolbens wird auf das Pumpengeſtänge E vermittelſt eines ſtarken Balanciers C übertragen. An dieſen ſind das Pumpengeſtänge und die Kolbenſtange mittelſt Ketten angehängt. Die Biegſamkeit derſelben macht es nöthig, ein großes Gewicht D anzubringen, welches beim Aufgange des Kolbens die nöthige Drehung des Balanciers bewirkt. Eine kleine Pumpe F hebt das zur Verdichtung des Dampfes erforderliche

Digitized by Google

Wasser in den Behälter H, aus welchem dasselbe durch das Rohr I in den Cylinder gelangen kann. Der Mündung dieses Rohres in den Cylinder giebt man gewöhnlich die Form einer Brause, wodurch das Abkühlungswasser als ein feiner Regen in den Cylinder eingespritzt wird. Das Rohr M hat den Zweck, daß sich im Cylinder sammelnde Wasser aus demselben fortzuschaffen. Vermittelst der beiden Hahnen L und K kann der Zufluß des Dampfes und des Abkühlungswassers beliebig unterbrochen und wieder hergestellt werden.

Befindet sich der Kolben am untern Ende seines Laufes, so wird der Hahn K geschlossen, L dagegen geöffnet, so daß Dampf in den Cylinder treten kann. Hat derselbe die gleiche Spannung wie die äußere Luft, so braucht das Gewicht G bloß die Reibung zwischen dem Kolben und dem Cylinder zu überwinden, um den Aufgang des Kolbens zu bewirken. Wenn dieser oben angekommen ist, wird L geschlossen, aber gleichzeitig K geöffnet; das Abkühlungswasser tritt nun in den Cylinder ein, und veranlaßt in demselben die Bildung eines nahe luftleeren Raumes. Der hierdurch zur Thätigkeit gelangende äußere Luftdruck bewirkt jetzt mit einer Kraft, welche für jeden Quadratfuß des Cylinderquerschnittes etwa 2000 Pfund beträgt, den Niedergang des Kolbens. Zugleich wird das Gestänge E durch eine dem Kolbenlaufe gleiche Strecke bewegt, und die hierdurch in Gang kommenden Schachtpumpen schaffen eine gewisse Menge Grubenwasser an die Oberfläche.

Das abwechselnde Oeffnen und Schließen der Hähne K und L wurde anfänglich von einem Arbeiter verrichtet. Einem Knaben, den man damit eines Tages beauftragt hatte, scheint die einförmige Beschäftigung wenig zugesagt zu haben. Die munteren Spiele seiner Genossen zogen ihn mehr an, als das langsame Hin- und Herschaukeln des Balanciers. Und doch durfte sich der kleine Ungeduldige keinen Augenblick von seinem Posten entfernen, wenn die Maschine nicht stille stehen, und so seine Abwesenheit verrathen sollte. Allein die Noth macht erfinderisch, und bald hatte Humphry Potter, der junge Maschinenwärter, das Mittel gefunden, sich unbemerkt die ersehnten Freistunden zu verschaffen. Er erkannte, daß die Stellungen der beiden Hahnen einen ganz festen Bezug besitzen zu den Stellungen des Balanciers, daß nämlich der Hahn L gerade dann geöffnet, und der Hahn K geschlossen werden muß, wenn das rechte Ende des Balanciers seine tiefste Stellung erreicht hat; daß hingegen bei der höchsten Stellung desselben die entgegengesetzten Bewegungen der Hahnen geschehen müssen. Hieraus schloß Potter mit Recht, daß der Balancier das Oeffnen und Schließen der Hahnen ebensogut besorgen könne, als er selbst, wenn es nur gelänge, demselben diese neue Arbeit aufzuladen. Nach mancherlei Versuchen gelang es ihm endlich, durch Schnüre die Hahnen mit dem Balancier so in Verbindung zu setzen, daß der beabsichtigte Zweck erreicht wurde. Durch diese Befreiung von der unausgesetzten Leitung des Wärters machte die Dampfmaschine wieder einen bedeutenden Schritt vorwärts (1713); sie erhielt dadurch eine gewisse Selbstständigkeit, welche die Regelmäßigkeit und Sicherheit ihrer Bewegungen sehr erhöhte. Im Jahre 1718 erbaute der Ingenieur Beighton eine Newcomen'sche Maschine, bei welcher er mit den Hahnen kleine Hebel verband, die durch lange, an den Balancier angehängte Stangen bewegt wurden. Dieser solidere Mechanismus erfüllte natürlich seinen Zweck noch besser, als es die bisher angewandten Schnüre hatten thun können. Die so verbesserte Maschine konnte in der Minute 15 Kolbenspiele machen.

Bei der Newcomen'schen Maschine spielt der Dampf freilich noch eine

Digitized by Google

untergeordnete Rolle; die eigentlich bewegende Kraft ist bei ihr der Luftdruck, weßhalb sie häufig auch atmosphärische Maschine genannt wird. Der Dampf dient hier nur dazu, die Thätigkeit des Luftdruckes zu ermöglichen. Ferner ist diese Maschine eine sogenannte einfach wirkende, weil sie eine eigentliche Arbeit nur während des Kolbenniederganges leistet, sich während des Kolbenaufganges aber leer bewegt. Obgleich auch die Newcomen'sche Maschine noch keine allgemeine, für alle Gewerbzweige brauchbare Kraftmaschine ist, sondern sich mit Vortheil nur zum Wasserheben anwenden läßt, so besitzt sie vor der Savery'schen Maschine doch wesentliche Vorzüge. Man kann mit ihr bei einer und derselben geringen Dampfspannung Wasser aus jeder beliebigen Tiefe heben, indem sich die in jedem einzelnen Falle erforderliche Kraft dadurch erlangen läßt, daß man dem Dampfcylinder einen entsprechenden Durchmesser giebt. Die Newcomen'sche Maschine kann daher zum Heben der Grubenwasser wirklich gebraucht werden, und verbreitete sich in Folge dessen auch in England rasch und allgemein. Man begrüßte in ihr das langersehnte Mittel, den Kohlenbergbau, diese mächtige Stütze der gesammten Industrie von Großbritannien, in ungestörter und immer ausgedehnterer Weise betreiben zu können.

Aufbau der Wärmelehre.

So trugen denn die glänzenden Entdeckungen, welche Torricelli, Pascal und Otto von Guericke über den Luftdruck gemacht hatten, der Industrie bereits ihre ersten, sehr werthvollen Früchte. Der glückliche Gedanke, welcher Papin in dem Wasserdampfe das geeignete Mittel erkennen ließ, das Gewicht der Atmosphäre nutzbar zu machen, hatte in der Newcomen'schen Maschine seine praktische Verwirklichung gefunden. Hiermit waren aber auch die bis zu jener Zeit von der Wissenschaft gemachten neuen Entdeckungen, welche zur Erfindung einer neuen Kraftmaschine beitragen konnten, gleichsam ausgebeutet und vernutzt. Ehe nun weiter aus der atmosphärischen die eigentliche Dampfmaschine, d. h. eine Maschine hervorgehen konnte, bei welcher die Spannkraft des Wasserdampfes die ausschließlich bewegende Kraft ist, mußten erst die noch sehr unvollkommen bekannten Eigenschaften des Wasserdampfes näher erforscht werden. Da diese aber mit den Wirkungen der Wärme auf das engste zusammenhängen, so konnten Untersuchungen über sie zunächst noch gar nicht vorgenommen werden. Denn bis zum Ende des siebzehnten Jahrhunderts waren zu einem Aufbau der Wärmelehre noch kaum die ersten Schritte geschehen. Erst um diese Zeit fing der französische Physiker Amontons an, den besonders von Baco von Verulam so unablässig empfohlenen Weg der Erfahrung auch bei Erforschung der Wärmeerscheinungen zu betreten. Er erkannte, daß die Temperatur des in einem offenen Gefäß erhitzten Wassers nicht ferner steigt, sobald dasselbe zu sieden begonnen hat. Auch sprach er bereits die Ansicht aus, daß das Vorkommen eines Körpers in festem, flüssigem oder luftförmigem Zustand von der größeren oder geringeren Wärmemenge abhänge, welche derselbe enthalte. Einer jeden Untersuchung der Wärmeerscheinungen stand damals ein bis dahin noch nicht überwundenes, bedeutendes Hinderniß entgegen. Man besaß nämlich kein Instrument, mit dem man genaue und unter sich vergleichbare Messungen der Wärmeintensität, der Temperatur, hätte machen können. Das Thermometer war noch nicht erfunden. Das Instrument, dessen Erfindung gewöhnlich dem Holländer Drebbel zugeschrieben wird, kann gar nicht als Wärmemesser angesehen werden, dasselbe konnte nur dazu dienen, verschiedene Temperaturen zu unterscheiden; vergleichbare Angaben waren aber mit demselben nicht zu erhalten.

Digitized by Google

Da die Wärme alle Körper ausdehnt, und diese Ausdehnung in ziemlich weiten Grenzen der Intensität der Wärme proportional ist, so muß man auch von der Größe der Ausdehnung, die ein Körper durch Wärme erfährt, auf die Intensität der letzteren oder auf die Temperatur des Körpers schließen können. Von den verschiedenen Körpern sind die flüssigen von Anfang an als diejenigen erkannt worden, deren Ausdehnung sich am besten zur Temperaturbestimmung benutzen läßt. Füllt man eine sehr enge, sich in eine Kugel endigende Glasröhre mit einer Flüssigkeit, so kann der Stand derselben in der Röhre sehr leicht beobachtet werden. Wird die Temperatur der Flüssigkeit erhöht, so wird dieselbe in der Röhre steigen, dagegen sinken im entgegengesetzten Falle. Ein Thermometer ist dieser Apparat aber noch nicht. Hierzu wird er erst dann, wenn es gelingt ihm eine solche Einrichtung zu geben, daß alle einzelnen nach derselben Regel construirten Instrumente eine und dieselbe Temperatur auch genau übereinstimmend angeben. Diese Aufgabe hat man nun aber dadurch vollkommen gelöst, daß man den Stand der Flüssigkeit in der Röhre für zwei genau bekannte, unveränderliche Temperaturen bestimmt, und diesen Abstand in eine bestimmte Anzahl gleicher Theile theilt. Für die Construktion eines Thermometers war es daher sehr wesentlich, zwei Temperaturen aufzusuchen, die in genau derselben Größe leicht zu erzeugen sind. Als eine solche hatte, wie schon gesagt, Amontons die Temperatur des siedenden Wassers erkannt. Ihrer bediente sich (1714) ein deutscher Mechaniker, Gabriel Fahrenheit in Danzig, dem man die ersten brauchbaren Thermometer verdankt, zur Bestimmung des oberen festen Punktes seiner Instrumente. Den untern festen Punkt bestimmte er bei seinen Thermometern durch Eintauchen derselben in eine constante Mischung von Salmiak und Schnee. Er wandte auch zuerst als thermometrische Flüssigkeit das Quecksilber an. Der Physiker Réaumur fand (1730), daß ein Gemisch von Wasser und Eis stets dieselbe Temperatur habe, und benutzte dieselbe zur Bestimmung des untern festen Punktes bei seinem Thermometer; der obere entsprach auch bei diesem der Siedhitze des Wassers. Den Abstand dieser beiden festen Punkte hatte Réaumur in 80 gleiche Theile, Grade, getheilt, wofür (1741) der schwedische Physiker Celsius eine Eintheilung desselben Abstandes in 100 Grade vorschlug. Für wissenschaftliche Angaben fand sein Vorschlag allgemein Anklang, während im gewöhnlichen Leben in Deutschland und Frankreich die Temperaturen noch meist nach Réaumur'schen Graden angegeben werden. (Die in diesem Aufsatz angegebenen Temperaturen sind in Celsius'schen Graden ausgedrückt.) So war denn endlich nach zahlreichen Versuchen um die Mitte des vorigen Jahrhunderts ein Instrument erfunden, mit welchem die Wärme genauen Messungen unterworfen werden konnte. Die neuen und unerwarteten Aufschlüsse, zu welchen dasselbe der Wissenschaft verhalf, sollten nicht lange auf sich warten lassen.

Thermometer.

Eine der wichtigsten und zugleich interessantesten Wirkungen der Wärme ist offenbar die, daß sie es vermag, feste Körper in flüssige, und diese in luftförmige zu verwandeln. Ueber die Vorgänge aber, welche diese Erscheinungen begleiten, hatte man ganz irrige Ansichten. Man glaubte, daß ein fester Körper, wenn er einmal bis zu seinem Schmelzpunkte erhitzt sei, nur noch der Hinzufügung einer ganz geringen Wärmemenge bedürfe, um flüssig zu werden. Durch sehr sinnreiche Versuche zeigte aber (1762) Joseph Black, welcher seit dem Jahre 1754 Professor der Physik in Glasgow war, die Unrichtigkeit jener Ansicht. Sein Hauptbeweis dafür war folgendes Experi-

Latente Wärme.

ment. Schüttet man 1 Pfund Wasser von 79° und 1 Pfund Wasser von 0° zusammen, so erhält man 2 Pfund Wasser von $39^0 1/2$. Mischt man dagegen 1 Pfund Wasser von 79° mit 1 Pfund feingestoßenem Eis, also fest gewordenem Wasser, von 0° zusammen, so schmilzt das Eis und man erhält wiederum 2 Pfund Wasser, aber nicht von $39^0 1/2$, sondern nur von 0°. Dies zeigt, daß die ganze Wärmemenge, welche 2 Pfund Wasser von $39^0 1/2$ enthalten, erforderlich ist, um 1 Pfund Eis von 0° in Wasser von 0° zu verwandeln. Für das Gefühl und das Thermometer ist jene Wärmemenge nicht mehr vorhanden; sie ist von dem Wasser, in welches sich das Eis verwandelt hat, unfühlbar gemacht, gleichsam gebunden worden. Man nennt diese Wärme daher auch gebundene oder latente Wärme. Wasser von 0° unterscheidet sich also von Eis von 0° durch eine gewisse Menge latenter Wärme, die diesem fehlt. Ein solches Binden von Wärme findet jedesmal statt, wenn ein Körper aus dem festen in den flüssigen Zustand übergeht. Und umgekehrt wird immer latente Wärme frei, wenn ein flüssiger Körper fest wird.

Der Uebergang eines Körpers aus dem flüssigen Zustand in den dampfförmigen, und umgekehrt, ist von einer ähnlichen Erscheinung begleitet. Um Wasser von 100°, also siedendes Wasser, in Dampf von 100° zu verwandeln, muß demselben noch fast $5 1/2$mal so viel Wärme zugeführt werden, als erforderlich war, um das Wasser von 0° auf 100° zu erwärmen. Die latente Wärme des Wasserdampfes ist also sehr bedeutend. Hierin liegt auch die Ursache, weßhalb man einer so auffallend großen Wassermenge bedarf, um Dampf abzukühlen und wieder tropfbar flüssig zu machen. Das Wasser muß nämlich die ganze Wärmemenge aufnehmen, welche bei der Verdichtung des Dampfes frei wird.

Durch die Entdeckung der latenten Wärme hat Black die ganze Wärmelehre auf das Wesentlichste gefördert, und sich einen Ehrenplatz unter den Physikern aller Zeiten gesichert. Die Wissenschaft war jetzt auf einem Standpunkte angelangt, wo sie mit Aussicht auf Erfolg an eine nähere Untersuchung der Eigenschaften des Dampfes gehen konnte. Die Hauptergebnisse derselben sollen hier, um bei Besprechung der weiteren Ausbildung der Dampfmaschine Unterbrechungen zu vermeiden, im Zusammenhange mitgetheilt werden, obgleich sie nicht auf einmal, sondern während eines längeren Zeitraumes nach und nach gefunden wurden.

Eigenschaften des Wasserdampfes.

Befindet sich in einem offenen Gefäße Wasser, so entwickeln sich an dessen Oberfläche unausgesetzt Dämpfe. Diese Dampfbildung wird durch Erwärmen des Wassers befördert, und es tritt, wenn die Temperatur des letzteren eine gewisse Höhe erreicht, ein Augenblick ein, von welchem an sich nicht nur an der Oberfläche des Wassers, sondern auch in dessen Inneren Dämpfe bilden. Sobald dieser Zustand begonnen hat, erhält sich die Temperatur des Wassers unverändert auf 100°, und die Spannkraft der sich bildenden Dämpfe ist genau gleich derjenigen, welche die auf dem Wasser ruhende Luft besitzt. Wird nun aber das Gefäß fest verschlossen und die Erhitzung fortgesetzt, so nimmt die Temperatur des Wassers mehr und mehr zu, und mit ihr steigt zugleich die Spannkraft des eingeschlossenen Dampfes. Bei Dampf, welcher sich noch in Berührung mit der Flüssigkeit befindet, aus welcher er sich entwickelt hat, hängt die Spannung bloß von der Temperatur ab; man nennt denselben *gesättigten Dampf*. Bei diesem entspricht also immer einer bestimmten Temperatur eine ganz bestimmte Spannkraft; das Gesetz jedoch, welches das eine dieser Elemente an das andere bindet, ist bis jetzt noch nicht aufgefunden worden. Die Wissenschaft darf

Digitized by Google

freilich ihrer ſelbſt wegen nicht aufhören, nach jenem Geſetze zu forſchen, indem nur dieſes ihr Genüge leiſten kann. Die Bedürfniſſe der Praxis ſind dagegen ſchon vollſtändig befriedigt, wenn die den einzelnen Temperaturen entſprechenden Dampfſpannungen bekannt ſind. Verſuche, dieſelben zu ermitteln, ſind von vielen Phyſikern angeſtellt worden, doch verdienen beſonders diejenigen, welche Arago und Dulong (1830), und in neueſter Zeit Magnus und Regnault unternommen haben, wegen ihrer bedeutenden Ausdehnung und der auf ſie verwendeten Sorgfalt erwähnt zu werden. Um die Größe der Spannkraft des Dampfes zu bezeichnen, bedient man ſich meiſt einer der beiden folgenden Ausdrucksweiſen. Entweder giebt man den Druck in Gewichteinheiten an, welchen der Dampf auf eine beſtimmte Flächeneinheit ausübt, und ſagt alſo z. B., ein gewiſſer Dampfdruck betrage auf den Quadratzoll 40 Pfund. Oder man ſtellt feſt, wie viel mal der Dampfdruck für einen beſtimmten Fall größer iſt, als der mittlere Luftdruck. Die Größe des letzteren, welche pro Quadratzoll preuß. 14,13 neue Pfund beträgt, wird kurz eine Atmoſphäre genannt. (Ein neues oder Zollpfund iſt gleich einem halben Kilogramm.) Heißt es daher von einer Dampfſpannung, ſie betrage z. B. 6 Atmoſphären, ſo beſagt dies, daß dieſelbe 6 mal ſo groß iſt als die Spannung der Luft an der Erdoberfläche; dieſer Dampf wird auf den Quadratzoll mit $6.14{,}13 = 84{,}78$ Pfund drücken.

Ein ferneres Element, welches ebenſo wie die Spannung bloß von der Temperatur des Dampfes abhängt, iſt das ſogenannte *ſpecifiſche Volumen* deſſelben. Man verſteht darunter die Zahl, welche angiebt, einen wie viel mal größeren Raum geſättigter Dampf von beſtimmter Temperatur einnimmt als das Waſſer, aus welchem er entſtanden iſt. So iſt z. B. das ſpecifiſche Volumen des Dampfes von 2 Atmoſphären Spannung gleich 897, d. h. aus 1 Maß Waſſer entſtehen 897 Maß geſättigter Dampf von der angegebenen Spannkraft. Die Kenntniß des ſpecifiſchen Volumens des Dampfes iſt für die Berechnung der Dampfmaſchine beſonders wichtig. Denn mit Hülfe derſelben kann man die Menge des zu verdampfenden Waſſers beſtimmen, wenn man bei einer Maſchine die Dampfſpannung im Cylinder, den Rauminhalt deſſelben und die Anzahl der Füllungen für eine gewiſſe Zeit kennt. In der folgenden kleinen Tabelle ſind für eine Anzahl von Temperaturen die Spannung des Dampfes in Atmoſphären, der Druck deſſelben auf den preuß. Quadratzoll in neuen Pfunden, und das ſpezifiſche Volumen angegeben.

Temperatur in Celſiuſchen Graden	Spannkraft in Atmoſphären.	Druck auf 1 Quadratzoll preuß. in Pfunden	Specifiſches Volumen.	Temperatur in Celſiuſchen Graden.	Spannkraft in Atmoſphären.	Druck auf 1 Quadratzoll preuß. in Pfunden.	Specifiſches Volumen.
20	0,024	0,322	58224	145,4	4,0	56,504	476,3
40	0,074	0,985	20343	149,1	4,5	63,569	427,2
60	0,198	2,689	7937	153,1	5	70,634	388,2
80	0,467	6,544	3462	160,2	6	84,764	329,0
100	1,0	14,126	1696	166,5	7	98,882	286,1
112,2	1,5	21,191	1167,8	172,1	8	113,008	253,6
121,4	2,0	28,252	897,1	177,1	9	127,146	228,0
128,8	2,5	35,317	731,4	181,6	10	141,126	207,4
135,1	3,0	42,382	619,2	186,0	11	155,398	190,3
140,6	3,5	49,443	538,0	190,0	12	169,528	176,0

Digitized by Google

Wenn man atmosphärische Luft zusammendrückt, indem man z. B. in einen mit Luft gefüllten Cylinder einen dicht schließenden Kolben hineinpreßt, so wächst die Spannkraft der eingeschlossenen Luft und zwar um so mehr, je kleiner der Raum ist, auf welchen sie beschränkt wird. Drückt man Luft auf die Hälfte, den dritten, vierten oder allgemein auf den nten Theil ihres anfänglichen Volumens zusammen, so wird ihre Spannung dadurch verdoppelt, verdrei-, vervier-, ver-n-facht. Dieses Gesetz, nach welchem die Spannung der Luft im umgekehrten Verhältniß zu ihrem Volumen steht, wurde im Jahre 1660 von Boyle zuerst aufgefunden. Sechszehn Jahre später bestätigte Mariotte die Richtigkeit desselben, und veranlaßte hierdurch, daß dasselbe nach ihm gewöhnlich das Mariotte'sche Gesetz genannt wird. Die eben besprochene Eigenschaft der Luft besitzt der gesättigte Dampf nicht; bei diesem läßt sich die Spannkraft nicht vergrößern, indem man sein Volumen verkleinert. Die Zusammendrückung von gesättigtem Dampf hat vielmehr den Erfolg, daß ein Theil des Dampfes wieder tropfbar flüssig wird, während der übrigbleibende seine anfängliche Spannung unverändert beibehält. Man sagt aus diesem Grunde auch, gesättigter Dampf befinde sich im Maximum seiner Spannkraft.

Ist dagegen Dampf getrennt von der Flüssigkeit, aus welcher er sich gebildet hat, so kann seine Spannung zwar auch niemals das seiner Temperatur entsprechende Maximum der Spannkraft übersteigen, dieselbe kann aber in jedem beliebigen Verhältniß kleiner sein, als jenes Maximum. Für Dampf, welcher mit seiner Erzeugungsflüssigkeit nicht mehr in Berührung steht, und dessen Spannung eine kleinere ist, als bei gesättigtem Dampfe von gleicher Temperatur, gilt gerade so wie für Luft, das Mariotte'sche Gesetz. Bei nicht gesättigtem Dampf nimmt die Spannung in demselben Verhältniß ab, in welchem das Volumen zunimmt, und umgekehrt. Hierbei wird jedoch vorausgesetzt, daß die Temperatur des Dampfes während seiner Ausdehnung keine Aenderung erleidet.

Da Dampf außer der am Thermometer leicht abzulesenden fühlbaren, auch noch eine gewisse Menge gebundener oder latenter Wärme enthält, so waren besondere Versuche nöthig, um die Gesammtwärme zu bestimmen, welche in Dampf von verschiedener Temperatur enthalten ist. Solche Versuche sind in neuester Zeit namentlich von Regnault mit großer Genauigkeit angestellt worden. Um Wärmemengen zu messen, ist es ebenso wie bei der Messung jeder anderen Art von Größen zunächst erforderlich, sich über die anzuwendende Einheit zu verständigen. Man ist nun übereingekommen, diejenige Wärmemenge, welche erforderlich ist, um die Temperatur einer Gewichteinheit, also bei uns eines Pfundes, Wasser um 1^0 Celsius zu erhöhen, als Wärmeeinheit anzusehen. Die Erwärmung von 1 Pfund Wasser von 0^0 bis zu 100^0 erfordert hiernach 100 Wärmeeinheiten; die gleiche Erwärmung von 20 Pfund Wasser 20 mal so viel. In solchen Einheiten drücken nun die Zahlen der folgenden Tabelle die Mengen der latenten und der Gesammtwärme aus, welche 1 Pfund gesättigter Wasserdampf von den in der ersten Spalte angegebenen Temperaturen enthält. Die Gesammtwärme ist natürlich gleich der Summe der fühlbaren und der latenten Wärme. Um also 5 Pfund Dampf von 120^0 zu erzeugen, sind nach der Tabelle $5 . 643{,}1 = 3215{,}5$ Wärmeeinheiten erforderlich. Die Kenntniß der in einer bestimmten Quantität Dampf enthaltenen Wärmemenge ist besonders deßhalb von Interesse, weil sich aus ihr die zur Erzeugung jenes Dampfes erforderliche Brennstoffmenge berechnen läßt.

Digitized by Google

Temperatur des Dampfes.	Latente Wärme.	Gesammt-wärme.	Temperatur des Dampfes.	Latente Wärme.	Gesammt-wärme.
20	592,6	612,6	120	522,3	643,1
40	578,7	618,7	140	508,0	649,2
60	564,7	624,8	160	493,6	655,3
80	550,6	630,9	180	479,0	661,4
100	536,5	637,0	200	464,3	667,5

Kehren wir nun wieder zu der weiteren Entwicklung der Dampfmaschine zurück. Die Newcomen'sche Maschine wurde, wie schon gesagt, bald von vielen Grubenbesitzern benutzt. Nachdem aber die erste Freude über ihre Erfindung und ihren Besitz vorüber war, wurde ihr der immer lauter werdende und begründete Vorwurf gemacht, sie verbrauche zu viel Brennstoff und ihre Leistungen würden daher zu theuer erkauft. Dieser Uebelstand wuchs natürlich in demselben Maße, wie sich der Preis des Brennstoffes steigerte, und mußte endlich den Tag herbeiführen, wo die Industrie die Newcomen'sche Maschine nicht ferner gebrauchen konnte. Es galt daher, diesem das ganze Land bedrohenden Uebel zuvorzukommen, und eine Maschine zu ersinnen, welche die Dampfkraft besser, als es die atmosphärische Maschine vermochte, nutzbar macht. Mit Eifer wandten sich die bedeutendsten Ingenieure der gestellten Aufgabe zu. Und wirklich war auch das Genie bereits geboren, welches sich in diesem Wettstreite die Krone erringen sollte. Dem schöpferischen Geiste eines James Watt war es vorbehalten, nicht nur die erste eigentliche Dampfmaschine herzustellen, sondern sie auch gleich durch eine Reihe glänzender Erfindungen bis fast zu der Höhe der Vollendung zu führen, auf welcher wir sie heute kennen und bewundern.

James Watt.

James Watt wurde den 19. Januar 1736 in der schottischen Stadt Greenock geboren. Den ersten Unterricht im Lesen erhielt er von seiner Mutter, während sein Vater ihn Schreiben und Rechnen lehrte. Eine öffentliche Schule konnte der junge Watt seiner schwachen Gesundheit wegen nur selten besuchen; für seine geistige Entwickelung war dies jedoch eher vortheilhaft als nachtheilig. Der Schöpfer hatte ihm eine außerordentliche, sich auf Alles erstreckende Beobachtungsgabe verliehen, und dieser noch das kostbare Geschenk einer lebhaften, leicht gestaltenden Phantasie hinzugefügt. Diese beiden Gaben, zu denen sich noch ein wunderbar starkes Gedächtniß gesellte, haben es Watt möglich gemacht, die große Aufgabe seines Lebens vollständig zu lösen. Die Umgebungen seiner Vaterstadt, die Nähe von Meer und Gebirgen, und besonders die romantischen Ufer des nahen Loch Lomond boten der Beobachtungsgabe des Jünglings die reichste Nahrung. Sie waren für ihn eine lockende Einladung, sich ernstlich mit den Naturwissenschaften zu beschäftigen, von welchen ihn besonders Botanik und Mineralogie anzogen. Wenn der Winter oder Rücksicht auf seine Gesundheit ihn in die Stube bannte, war es vorzugsweise die Lectüre medicinischer Schriften und das Studium der Chemie, welche Watt auch diese stillen Tage werth machten. Die Chemie machte zu jener Zeit große Anstrengungen, sich zu einer Wissenschaft zu gestalten, und mußte gerade in ihrem damaligen Zustande, wo so viele Räthsel noch des lösenden Wortes harrten, eine besondere Anziehungskraft für denkende Köpfe haben. Daß Watt's chemische

Digitized by Google

Untersuchungen mit dem Ernst eines echten Forschers angestellt wurden, und nicht als bloßer Zeitvertreib dienten, sollte glänzend ans Licht treten, als Watt später (1783) eine der tiefgreifendsten Entdeckungen der neueren Chemie machte: die Zusammensetzung des Wassers aus den beiden Gasen Sauerstoff und Wasserstoff.

Unter so mannichfachen, aber stets lehrreichen Beschäftigungen war die Zeit herangekommen, wo Watt sich über seinen späteren Beruf entscheiden mußte. Ob ihm diese Wahl schwer wurde, wissen wir nicht, doch sollte man es fast vermuthen, da seine reichen Anlagen ihn zu Vielem gleich sehr befähigten. Vielleicht trieb ihn jedoch eine dunkle Ahnung in die Laufbahn, in welcher er seinem Namen Unsterblichkeit erringen sollte. Er entschloß sich Mechaniker zu werden und ging im Jahre 1755 nach London, um hier bei John Morgan seinen künftigen Beruf zu erlernen. Watt besaß eine äußerst geschickte Hand, was ihm bei seiner neuen Beschäftigung sehr zu statten kam. Diese bestand in der Anfertigung von nautischen Instrumenten, von Sextanten, Compassen u. dergl. Schon nach einem Jahre sah sich Watt indeß genöthigt, seine Stelle in London aufzugeben. Er hatte während eines kalten Wintertages in der Nähe der Werkstattthüre gearbeitet, und sich hierdurch eine heftige Erkältung zugezogen. Da dieses Uebel gar nicht weichen wollte, so beschloß er, wieder nach seiner Heimath zurückzukehren, von deren Luft er Besserung hoffte. Auf diese Weise kam er (1756) nach Glasgow, mit der Absicht, hier als Mechaniker ein eigenes Geschäft zu gründen. Die dortige Zunft seines Handwerks widersetzte sich aber, gestützt auf alte Privilegien, hartnäckig der Ansiedelung eines Fremden. In dieser für Watt sehr unangenehmen Lage nahm die Glasgower Universität sich seiner an, ernannte ihn zu ihrem Mechaniker und räumte ihm in ihren Gebäulichkeiten eine Werkstätte ein. Zugleich wurde ihm erlaubt, in seinen freien Stunden für eigene Rechnung zu arbeiten. So bescheiden diese Stellung auch war, so konnte sie doch die großen Eigenschaften Watt's nicht verbergen. In kurzer Zeit hatte er sich die Achtung und Liebe sowohl der Studirenden, als der Professoren erworben. Um sein Verhältniß zu seinen Umgebungen recht deutlich und unmittelbar erkennen zu lassen, sei es mir erlaubt, hier die Aeußerungen eines Zeitgenossen, des Doktor Robison, mitzutheilen.

„Obgleich noch Student," sagt der Verfasser des **Philosophical magazine**, „besaß ich doch schon die Eitelkeit, mich in meinen Lieblingswissenschaften, Mechanik und Physik, für weit fortgeschritten zu halten. Da wurde ich eines Tages Watt vorgestellt, und ich gestehe, ich war nicht wenig betroffen, als ich sah, wie sehr mir der junge Arbeiter überlegen war. . . . Wenn wir seitdem bei unseren Studien auf irgend eine Schwierigkeit stießen, welcher Art dieselbe auch sein mochte, so suchten wir Hülfe bei unserem Künstler. Jeder einmal angeregte Gegenstand wurde für ihn die Veranlassung zu ernsten Studien und Entdeckungen. Niemals ließ er mit seinen Anstrengungen nach, bis die gestellte Frage gänzlich aufgeklärt war, sei es nun, daß er ihre Richtigkeit nachwies, oder aus ihr ein bestimmtes und faßbares Resultat gewann . . . Eines Tages schien die gewünschte Aufklärung das Studium des Leupold'schen Werkes über Maschinen zu verlangen: Watt lernte gleich das Deutsche. Bei einer anderen Gelegenheit machte er sich aus einer ähnlichen Ursache mit der italienischen Sprache bekannt. . . . Die natürliche Einfachheit des jungen Ingenieurs erwarb ihm augenblicklich das Wohlwollen Aller, welche mit ihm in Berührung kamen. Obgleich ich mich

viel in der Welt bewegt habe, so muß ich doch bekennen, daß es mir nicht möglich ist, ein zweites Beispiel einer so tiefen und allgemeinen Zuneigung anzuführen, welche irgend Jemandem von unbezweifelter Ueberlegenheit wäre zu Theil geworden. Diese Ueberlegenheit wurde freilich gemildert durch die liebenswürdigste Offenheit, und war mit dem festen Willen gepaart, daß Verdienst eines Jeden freiwillig anzuerkennen. Ja Watt gefiel sich sogar darin, dem erfinderischen Geiste seiner Freunde Dinge zuzuschreiben, welche oft nur seine eigenen, unter einer anderen Form dargestellten Ideen waren."

In dem Cabinet der Universität befand sich ein Modell der Newcomen'schen Maschine, welches aber bisher nie hatte in Gang gebracht werden können. Anderson, der Professor der Physik, beauftragte Watt (im Winter 1763), jenes Modell in brauchbaren Stand zu setzen. Diesem gelang die gestellte Aufgabe sehr leicht, indem er bloß den Cylinder, welcher im Verhältniß zum Kessel zu groß war, um ein Stück verkürzte. Von nun an wurde das in Thätigkeit befindliche Modell in den Vorlesungen stets mit großem Interesse betrachtet. Das größte Interesse aber hatte dasselbe bei Watt selbst erregt. Er hatte keine Ruh und Rast, bis ihm die ganze Thätigkeit der Maschine und alle Erscheinungen, welche sie darbot, vollständig klar waren. Bei den mannichfachen Versuchen, welche er mit dem Modelle anstellte, konnten seinem hellen Geiste die Fehler, welche jenes besaß, und deren Ursachen nicht verborgen bleiben. Was Watt zuerst auffiel, war der verhältnißmäßig große Dampfverbrauch; derselbe betrug für jeden Kolbenaufgang das Mehrfache des Cylinderinhaltes. Ein großer Brennstoff-Aufwand war die unmittelbare Folge davon. Die Ursache jener Erscheinung lag in der Einrichtung der Maschine, und ließ sich ohne eine durchgreifende Aenderung derselben nicht beseitigen. Der doppelte Zweck des Cylinders, abwechselnd mit heißem Dampf gefüllt und mit kaltem Wasser in Berührung gebracht zu werden, veranlaßte nothwendig einen großen Dampfverlust. Denn bei der Verdichtung des Dampfes im Cylinder wurde auch die Wand desselben erkaltet; strömte nun wieder neuer Dampf ein, so wurde erst eine solche Menge desselben durch Berührung mit dem kalten Cylinder verdichtet, bis die aus ihr freigewordene latente Wärme die Temperatur der Cylinderwand wieder auf die des Dampfes erhöht hatte. Der hierzu benutzte Dampf war natürlich für die eigentliche Thätigkeit der Maschine verloren.

Die Auffindung eines Mittels, wodurch dem besprochenen Uebelstande hätte abgeholfen werden können, war jedoch nicht das, womit Watt sich nun zunächst beschäftigte. Er that Nichts halb und baute nicht auf unsicherem Fundamente. Ehe er auf Mittel für eine vortheilhaftere Benutzung des Dampfes sann, wollte er erst die Eigenschaften desselben näher kennen. Mit geringen Hülfsmitteln unternahm nun Watt eine Reihe sehr schwieriger Untersuchungen. Zuerst ermittelte er, daß gesättigter Dampf von 100^0 nahe 1700 mal soviel Raum einnimmt, als das Wasser, aus dem er entstanden ist; er bestimmte also das specifische Volumen dieses Dampfes. Dann ging er weiter zur Bestimmung der Wassermenge, welche durch Verbrennen einer bestimmten Quantität Kohlen verdampft werden kann. Vom Beginn seiner Versuche an hatte Watt mit Erstaunen bemerkt, welche bedeutende Wassermenge erforderlich war, um den im Cylinder enthaltenen Dampf zu verdichten, und wie beträchtlich sich hierbei das eingespritzte Wasser erwärmte. Trotz alles Nachdenkens wollte es ihm nicht gelingen, den Grund jener Erscheinung aufzufinden. Wie ihm endlich Aufklärung darüber wurde, erzählt Watt selbst

Digitized by Google

mit folgenden Worten: „Ich sprach mit meinem Freunde, dem Doktor Black, darüber, welcher mir bei dieser Gelegenheit die Lehre von der latenten Wärme entwickelte, die er einige Jahre vorher aufgestellt hatte. Ganz und gar von meinen eigenen Untersuchungen in Anspruch genommen, hatte ich von dieser neuen Lehre können sprechen hören, ohne ihr die verdiente Aufmerksamkeit zu schenken, bis ich plötzlich vor einer der Hauptthatsachen stand und von ihr gehemmt wurde, auf welcher jene bewundernswerthe Theorie beruht." Man erkennt aus dieser Aeußerung so recht unmittelbar, welch bedeutenden Einfluß die Fortschritte der Wissenschaft auf die Ausbildung der Dampfmaschine geübt haben. Nachdem Watt einmal mit den Erscheinungen der latenten Wärme bekannt geworden, war es ihm nicht schwer, die Wassermenge zu bestimmen, welche erforderlich ist, eine gegebene Quantität Dampf abzukühlen und zu verdichten. Endlich machte Watt auch einige Versuche über die Spannkraft, welche gesättigter Dampf bei verschiedenen Temperaturen besitzt.

Ueber diesen Arbeiten hatte sich bei Watt immer mehr die Ueberzeugung von der großen Wichtigkeit einer Verbesserung der Newcomen'schen Maschine festgesetzt. Um dieser Aufgabe seine ganze Zeit und Kraft widmen zu können, beschloß er seine bisherige Stellung aufzugeben. Hierbei wirkte indeß auch noch ein anderer Beweggrund mit. In der Nähe von Glasgow bewohnte einer seiner Oheime, Herr Miller, während der Sommermonate ein Landhaus, wo Watt sich Sonntags häufig zum Besuche einfand. Er lernte hier eine junge, liebreizende Cousine kennen, und hatte bald sein Herz an sie verloren. Doch wurde ihm für diesen Verlust reicher Ersatz: Fräulein Miller schenkte ihm Herz und Hand, und wurde (1764) seine Gattin. Watt schloß nun seine kleine Werkstatt und ließ sich als Civil-Ingenieur in Glasgow nieder. Er besaß in seinem Charakter einen gewissen Zug von Unentschlossenheit, eine Neigung zum dolce far niente, welche ihn am Ende seines thätigen Lebens den sonderbaren Ausspruch thun ließ, er habe nur zwei Arten des Vergnügens gekannt, die Unthätigkeit und den Schlaf. Damit die kostbaren Früchte, deren unerschöpflicher Quell sein Genie war, auch wirklich zur Reife gelangten, bedurfte Watt eines äußeren Antriebes. Daher wirkte das Glück, welches er in der Ehe fand, und der anregende Einfluß, welchen seine sanfte, innig geliebte Gattin auf ihn ausübte, so günstig auf den Erfolg seiner Bestrebungen.

Condensator.

Die mannichfachen Ideen zu einer Verbesserung der atmosphärischen Maschine, welche Watt schon seit längerer Zeit mit sich herumtrug, begannen endlich eine feste Gestalt anzunehmen. Der Hauptübelstand jener Maschine erforderte zunächst Abhülfe: Watt schaffte dieselbe durch die Erfindung des Condensators, welche er im Jahre 1765 machte. Wir haben oben gesehen, daß die Abkühlung des Dampfes im Innern des Cylinders eine im Prinzip fehlerhafte Anordnung ist, indem dabei an ein und dasselbe Maschinenorgan zwei einander widersprechende Anforderungen gestellt werden. Das Mittel, wodurch Watt diesen Widerstreit beseitigte, war so einfach und scheinbar so naheliegend, daß Mancher vielleicht verwundert fragt, warum man nicht schon früher darauf verfallen sei. Die Antwort hierauf ist nicht schwierig. Jeder, der mit der Thätigkeit des menschlichen Geistes und mit der Geschichte der Erfindungen näher bekannt ist, weiß auch, daß es nur dem echten Genie, dem überlegenen Geiste gelingt, zur Erreichung eines Zweckes gleich die einfachsten Mittel ausfindig zu machen. Watt läßt die Verdichtung des

Digitized by Google

Dampfes in einem besonderen geschlossenen Gefäße geschehen, welches mittelst eines, mit einem Hahn versehenen Rohres mit dem Dampfcylinder beliebig in und außer Verbindung gesetzt werden kann. Diesem Gefäße gab er den Namen Condensator. Wenn nun, während die Verbindung zwischen diesem und dem Cylinder abgesperrt, dagegen ein am Condensator angebrachtes Ventil geöffnet ist, in diesen Dampf aus dem Kessel hinein geleitet wird, so drängt derselbe die Luft durch jenes Ventil hinaus und füllt den Condensator ganz an. Wird jetzt das erwähnte Ventil geschlossen und kaltes Wasser in den Condensator eingespritzt, so bildet sich in demselben ein nur von sehr gering gespannten Dämpfen erfüllter Raum, gerade so wie es früher im Cylinder geschah. Läßt man nun fortwährend kaltes Wasser in den Condensator dringen, und stellt, wenn der Kolben oben im Cylinder angekommen ist, die Verbindung zwischen diesem und dem Condensator her, so werden alle Dämpfe aus dem Cylinder in den Condensator strömen, wo sie gleich verdichtet werden. Denn da in diesem eine viel geringere Spannung herrscht als in jenem, so werden die Dämpfe durch ihre eigene Spannkraft in den Condensatorraum hineingetrieben. Hat der Kolben seinen Niedergang beendet, so hebt man die Verbindung zwischen den beiden Räumen auf, und stellt sie erst wieder her, wenn der Cylinder von neuem mit Dampf gefüllt ist. Auf diese einfache Weise erhält man eine ebenso vollständige Verdichtung des Dampfes, als wenn sie im Cylinder selbst geschieht, ohne diesen doch irgend wie mit kaltem Wasser in Berührung zu bringen und hierdurch abzukühlen.

Die Thätigkeit des Condensators wird so lange ungestört fortdauern können, als die in ihn einströmenden Dämpfe genügend verdichtet werden. Dies würde aber schon nach einigen Kolbenspielen nicht mehr der Fall sein, wenn der Condensator nicht noch mit einer besonderen Einrichtung versehen würde. Wäre diese nicht vorhanden, so würde das fortwährend in den Condensator strömende Wasser denselben nach und nach anfüllen; ferner würde sich in demselben eine immer größer werdende Luftmenge ansammeln. Denn alles gewöhnliche Wasser enthält eine gewisse Menge Luft, welche aus demselben frei wird, wenn das Wasser verdampft oder in einen Raum gebracht wird, in welchem eine geringere Spannung herrscht, als in den Luftschichten an der Erdoberfläche. Daher muß mit den Dämpfen, welche aus dem Kessel in den Cylinder, und von hier in den Condensator gelangen, zugleich eine gewisse Menge Luft in diesen eindringen. Vermehrt wird dieselbe durch diejenige Luft, welche aus dem in den Condensator eingespritzten Wasser frei wird. Soll nun trotz dieses fortwährenden Zuströmens von Wasser und Luft die Thätigkeit des Condensators ungestört bleiben, so muß dafür gesorgt werden, daß aus demselben fortwährend eben soviel Wasser und Luft fortgeschafft wird, als gleichzeitig hinein gelangt. Dies bewirkte Watt durch Anbringung einer einfachen Saugpumpe, welche beide Stoffe entfernt; er nannte dieselbe zur Unterscheidung von anderen bei der Dampfmaschine vorkommenden Pumpen Luftpumpe. Die Kolbenstange derselben verband er mit dem Balancier, so daß die Maschine selbst die Pumpe in Bewegung setzt. Der hierzu in Anspruch genommene Theil der Gesammtwirkung des Dampfes geht freilich für die nützliche Arbeit der Maschine verloren; aber diese Einbuße wird durch den Gewinn, den die Anbringung von Condensator und Luftpumpe gewährt, um das Mehrfache aufgewogen. Luftpumpe.

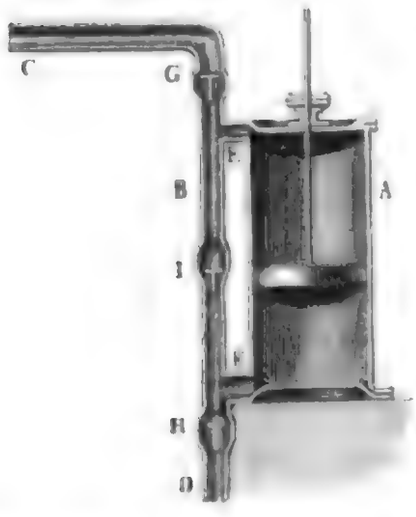
Durch die Hinzufügung der eben beschriebenen Theile zu einer Newcomen'schen Maschine wird der Werth derselben zwar bedeutend erhöht, allein

Digitized by Google

Einfach wirkende Watt'sche Maschine.

sie bleibt doch immer noch eine atmosphärische Maschine: der auf dem Kolben lastende Luftdruck bewirkt den Niedergang desselben. Hiermit sind aber zweierlei Nachtheile verbunden. Einmal veranlaßt das Eindringen der äußeren Luft in den Cylinder eine schädliche Abkühlung desselben, und dann ist die Intensität des Luftdruckes eine ganz nahe unveränderliche Größe, was die Abmessungen der Maschine in manchen Fällen nachtheilig beeinflußt. Watt stellte sich daher die weitere Aufgabe, die ganze Thätigkeit der Maschine ausschließlich durch die Spannkraft des Dampfes hervorzubringen, und die Mitwirkung des Luftdruckes vollständig zu beseitigen. Die höchst einfache und schöne Einrichtung, welche er zur Erreichung dieses Zweckes ersann, besteht der Hauptsache nach in Folgendem. Zunächst ist der Cylinder nicht, wie bei der atmosphärischen Maschine, oben offen, sondern durch einen Deckel dampfdicht verschlossen. Die Kolbenstange geht durch eine auf dem Deckel angebrachte sogenannte Stopfbüchse hindurch, welche verhindert, daß Dampf aus dem Cylinder hinaus, oder Luft in denselben hineindringen kann. Neben dem Cylinder, Fig. 191, befindet sich ein Rohr B, dessen oberes Ende C mit dem Dampfkessel, und das untere D mit dem Condensator in Verbindung steht. Der Cylinder hängt an seinem oberen und unteren Ende durch die kurzen Rohre E und F mit dem Rohre B zusammen. In diesem befinden sich drei, nach oben sich öffnende Ventile, von denen das eine G oberhalb der Mündung des Rohres E, das zweite H unterhalb der Mündung des Rohres F, und das dritte I an einer beliebigen Stelle zwischen diesen Mündungen angebracht ist. Denken wir uns nun, der Kolben befinde sich in seiner höchsten Stellung, und die Ventile G und H würden geöffnet, während man das Ventil I schlösse. Dann steht der Cylinderraum unter dem Kolben mit dem Condensator in Verbindung, und der in ihm enthaltene Dampf wird also verdichtet. Gleichzeitig strömt aber der Dampf aus dem Kessel in den Cylinderraum über dem Kolben, und übt auf diesen einen seiner Spannkraft entsprechenden Druck aus. Da auf die untere Fläche des Kolbens nur ein sehr geringer Gegendruck wirkt, so wird sich der Kolben niederbewegen und zwar mit einer Kraft, welche gleich ist dem Unterschied der auf seine beiden Flächen wirkenden Pressungen. Ist der Kolben unten angekommen, so werden die Ventile G und H geschlossen, dagegen I geöffnet. Hierdurch wird der Cylinder sowohl vom Kessel als vom Condensator abgesperrt, während die Cylinderräume ober- und unterhalb des Kolbens mit einander in Verbindung treten. In Folge dessen erfährt die untere Kolbenfläche einen ebenso großen Dampfdruck als die obere, und da diese Drucke einander entgegen wirken, so heben sie sich vollständig auf und können also gar keine Bewegung des Kolbens hervorbringen. Setzt man nun aber, gerade so wie bei der Newcomen'schen Maschine, die Kolbenstange mit dem einen Ende des Balanciers in Verbindung, und hängt an das andere Ende desselben ein genügendes Gegengewicht, so wird dieses den Aufgang des Kolbens bewirken. Hierbei treten die über demselben befindlichen Dämpfe in dem Maße, wie er sich nach

(Fig. 191.)



Digitized by Google

oben bewegt, unter denselben. Sobald der Kolben oben angelangt ist, wird das Ventil I geschlossen, die Ventile G und H werden wieder geöffnet, und es beginnt ein neues Kolbenspiel, welches mit dem eben beschriebenen vollständig übereinstimmt. Der Gang der Maschine kann so ununterbrochen fortdauern, so lange der Kessel die nöthige Dampfmenge liefert und der Condensator die aus dem Cylinder tretenden Dämpfe gehörig verdichtet. Das rechtzeitige Oeffnen und Schließen der drei Ventile geschieht durch passend angebrachte Hebel und Stangen, welche vom Balancier der Maschine bewegt werden.

So war denn die einfach wirkende Watt'sche Maschine erfunden und in ihr die erste eigentliche Dampfmaschine. Einfach wirkend ist diese Maschine noch in demselben Sinne, wie die Newcomen'sche, indem auch bei ihr nur während des Kolbenniederganges eine Arbeit geleistet wird. Auch darin stimmen beide Maschinen überein, daß sie, wenn von den durch Abkühlung im Cylinder entstehenden Dampfverlusten abgesehen wird, für jedes Kolbenspiel eine Dampfmenge gebrauchen, welche einer einmaligen Füllung des Cylinders entspricht. In Betreff jener Dampfverluste aber ist die Watt'sche Maschine ihrer Vorgängerin bei weitem überlegen. Während es bei ihr fast gar keine Dampfverluste mehr giebt, wurde bei der älteren Maschine kaum von dem dritten Theile des verbrauchten Dampfes eine nützliche Wirkung erzielt.

Ueber die verhältnißmäßige Mühe, welche ihm die einzelnen der besprochenen Erfindungen gemacht haben, äußert Watt selbst sich mit folgenden Worten: „Nachdem ich einmal die Idee gefaßt hatte, die Condensation außerhalb des Cylinders vorzunehmen, folgten sich alle andern Verbesserungen mit solcher unglaublichen Schnelligkeit, daß in der Zeit von einem oder zwei Tagen der ganze Plan in meinem Kopfe ausgearbeitet war, und daß ich, um ihn zu erproben, gleich an seine Ausführung ging." In dem Erdgeschosse seines Hauses hatte er eine kleine Werkstätte eingerichtet. Hier untersuchte er zunächst an einem Modelle die Ausführbarkeit seiner Ideen, und als er sich von dieser vollständig überzeugt hatte, erbaute er mit Hülfe einiger Arbeiter die erste Maschine seiner Construktion in wirklicher Größe. Er führte an ihr alle von ihm ersonnenen neuen Organe aus, und brachte zugleich noch eine weitere Verbesserung an. Bisher ward der Dampfcylinder unmittelbar der äußeren Luft ausgesetzt, was Abkühlung und in Folge hiervon Dampfverlust verursachte. Um dies zu verhüten, umgab Watt den Cylinder mit einer Hülle, einem Mantel von Holz. Da dieses Material die Wärme schlecht leitet und durchläßt, so ist es sehr geeignet, den Cylinder gegen Abkühlung zu schützen.

Watt und Robud.

Watt hatte in seiner Maschine offenbar einen großen Schatz gehoben. Mit unermüdlichem Eifer hatte er denselben zu Tage gefördert, aber als er ihn endlich gefunden, ging er mit weit geringerem Eifer daran, die neue Erfindung im eigenen und im Interesse des Landes auszubeuten. Die Schuld hiervon trug nicht etwa ein Verkennen des Werthes seiner Erfindung, Watt wußte dieselbe besser zu würdigen, als irgend Jemand. Er sah bereits im Geiste seine Maschine noch wesentlich verbessert, und zu einer Allgemeinheit der Anwendbarkeit gebracht, von der seine Umgebung noch keine Ahnung hatte.

Auch waren keinerlei egoistische Absichten die Ursache, daß Watt die Segnungen seiner Erfindung seinem Lande gleichsam vorenthielt — jede Art von Eigennutz war seinem edlen Herzen fremd. Aber seine schon früher erwähnte Vorliebe für eine ruhige Existenz, seine Scheu vor

Digitized by Google

den bei industriellen Unternehmungen unvermeidlichen Wagnissen waren die Widerstände, welche Watt längere Zeit nicht dazu kommen ließen, ernstliche Schritte für die Ausbeutung seiner Erfindung zu thun. Ein glücklicher Zufall sollte ihn endlich über jene selbstgeschaffenen Schwierigkeiten hinweghelfen. Sein Haus war durch die Liebenswürdigkeit seiner Besitzer zu einem Sammelplatz fast aller bedeutenden Männer geworden, welche Glasgow damals besaß. Außer Black verkehrten dort unter anderen auch Adam Smith, der berühmte Nationalökonom, und Robert Simson, der unermüdliche Erforscher der uns vom Alterthume überlieferten mathematischen Werke. In diesen Kreis wurde eines Tages auch Röbuck eingeführt, ein reicher Kapitalist und Gründer der Carron'ner Hütte. Watt erzählte ihm von seiner Umgestaltung der alten Newcomen'schen Maschine. Mit gespannter Aufmerksamkeit hört Röbuck zu, und erkennt augenblicklich den großen Vortheil, den er bei dem Betriebe seiner Gruben und Salinen von Borrowstones aus der neuen Maschine ziehen kann. Von rascherem Entschlusse als Watt bietet er diesem gleich die zur Ausbeutung seiner Erfindung nöthigen Geldmittel an, wogegen er zwei Drittel des zu erzielenden Gewinnes beansprucht. Nachdem Watt den Vorschlag angenommen, begann er zu Kinneil eine Maschine zu bauen, welche dann zum Auspumpen der Wasser aus einer der Gruben zu Borrowstones an dem Schachte derselben aufgestellt wurde. Der Erfolg entsprach den Erwartungen vollkommen.

Um sich das ausschließliche Eigenthum seiner Erfindungen zu sichern, suchte Watt um ein dieselben schützendes Patent nach, welches ihm auch (1769) bewilligt wurde. In diesem ist bereits der Fall vorgesehen, wo wegen Mangels an Wasser eine Condensation des Dampfes nicht ausführbar ist. Watt behält sich das Recht vor, unter solchen Umständen Dampf von höherer Spannung anzuwenden, und denselben, nachdem er in der Maschine gewirkt hat, in die Luft entweichen zu lassen. Es ist dies das Prinzip der erst weit später zur Anwendung gekommenen Hochdruck-Dampfmaschine. Als so alle vorbereitenden Schritte gethan waren, sollte eine große, bloß zur Erbauung von Dampfmaschinen bestimmte Fabrik ins Leben gerufen werden. Dieser schöne Plan wurde leider vereitelt. Durch unglücklich abgelaufene Unternehmungen verlor Röbuck einen großen Theil seines Vermögens, und in Folge dessen löste sich seine Verbindung mit Watt wieder auf. Auf Letzteren scheint dieser traurige Ausgang einen sehr entmuthigenden Eindruck hervorgebracht zu haben. Er machte gar keine weiteren Versuche, seine Erfindung in die Praxis einzuführen, sondern kehrte wieder zu seiner Beschäftigung als Civil-Ingenieur zurück. Als solcher führte er einen Kanal aus, auf welchem die Kohlen der Monklander Gruben nach Glasgow geschafft werden sollten. Ferner baute er Brücken in Hamilton und Rutherglen, und arbeitete Pläne aus zur Verbesserung der Häfen von Ayr, Glasgow und Grenock. Endlich beschäftigte ihn die Untersuchung der Gegend, durch welche später der berühmte, ganz Nordschottland durchschneidende Caledonische Kanal geführt wurde. Während diese letztere Arbeit Watt von seiner Familie entfernt hielt, traf ihn ein furchtbarer Schlag des Schicksals: der Tod entriß ihm seine Gattin. Watt hatte sie unendlich lieb gehabt. Sein Tagebuch bezeugt den tiefen Schmerz, der in jener Zeit auf seiner Seele lastete. Als er nach diesem Trauerfalle zum ersten Male wieder nach Hause zurückkehrt, bleibt er tiefgebeugt auf der Schwelle stehen, über welche ihm nicht mehr „ihr liebreiches Willkommen" entgegen tönt; er hat nicht die Kraft,

Digitized by Google

die Zimmer wieder zu betreten, wo er „den Trost seines Lebens“ nicht mehr finden sollte. Mit Rücksicht auf diese Stimmung macht Arago in seiner auf Watt gehaltenen Gedächtnißrede eine Bemerkung, die ich mir erlaube, an dieser Stelle zu wiederholen. Er sagt: „Vielleicht macht die Schilderung einer so aufrichtigen und tiefen Trauer endlich jene Engherzigen verstummen, welche trotz der schlagendsten sie widerlegenden Beispiele jedem Manne Herz und Gemüth absprechen, dessen Geist sich genährt hat mit den fruchtbaren, erhabenen und unvergänglichen Wahrheiten der strengen Wissenschaften.“

Watt und Boulton.

Als der erste Schmerz bei Watt vorüber war, suchten seine Freunde das bei ihm fast ganz erstorbene Interesse für seine Erfindungen wieder neu zu beleben. Er schien ganz vergessen zu haben, daß ein großer Theil der Geschicke seines Landes in seiner Hand ruhte. Endlich, im Anfang des Jahres 1774 gelang es, Watt in Verbindung mit Boulton zu bringen. Dieser war einer der reichsten und einsichtsvollsten englischen Fabrikanten, und besaß zu Soho, in der Nähe von Birmingham, ein großartiges und ausgedehntes Werk, in welchem alle Arten Metallwaaren gefertigt wurden. Der Charakter Boulton's war der beste, welchen Watt zur Ergänzung des seinigen hätte finden können. Das gegenseitige Verhältniß der beiden Männer tritt am deutlichsten in den folgenden Worten hervor, mit welchen Watt selbst sich über Boulton ausspricht: „Die Freundschaft, welche er mir bewies, hat erst mit seinem Leben aufgehört. Diejenige, welche ich ihm gewidmet habe, macht es mir zur Pflicht, diese Gelegenheit, vielleicht die letzte, die sich mir darbieten wird, zu benutzen, um es auszusprechen, wie viel ich ihm zu danken habe. Der unabläßigen Aufmunterung Boulton's, seiner Vorliebe für wissenschaftliche Entdeckungen und der Klugheit, mit welcher er diese für die Fortschritte der Gewerbe zu benutzen wußte, dann endlich der genauen Kenntniß, welche er von gewerblichen und geschäftlichen Angelegenheiten besaß, schreibe ich zum großen Theile die Erfolge zu, mit denen meine Anstrengungen gekrönt worden sind.“ Boulton erkannte gleich die große Zukunft der Erfindungen Watt's, und zögerte daher auch nicht, einen Gesellschaftsvertrag mit ihm abzuschließen, nach welchem sie gemeinschaftlich die Erbauung von Dampfmaschinen betreiben wollten. Da das Watt bewilligte Patent nur noch für einige Jahre Gültigkeit hatte, so suchten die beiden Genossen zunächst eine Verlängerung desselben zu erwirken, um das neue Geschäft in gehöriger Ausdehnung und mit der nöthigen Sicherheit gründen zu können. Da ihr Wunsch mit der Patent-Gesetzgebung in Widerspruch stand, so stießen sie anfänglich auf mancherlei Schwierigkeiten. Die große und allgemeine Wichtigkeit der neuen Erfindung veranlaßte jedoch das Parlament, (1775) eine Verlängerung des ersten Patentes auf weitere 25 Jahre zu genehmigen. Nachdem dies erreicht war, wandelte Boulton einen Theil der ausgedehnten Werke in Soho in eine Fabrik für Dampfmaschinen um. Die erste hier gefertigte Maschine wurde in der Fabrik selbst aufgestellt und in Thätigkeit gesetzt, damit Jedermann sich von den Vorzügen derselben überzeugen könne. Genaue und wiederholte Versuche ergaben das außerordentlich günstige Resultat, daß jene Maschine nur $^1/_4$ so viel Brennstoff verbrauchte, wie eine Newcomen'sche Maschine von gleicher Leistung. Also eine Brennstoffersparniß von 75 % war das Ergebniß der Watt'schen Verbesserungen.

Die Schwierigkeiten, welche sich der Einführung jedes Neuen, auch selbst des Besseren, entgegenstellen, wußte Boulton auf sehr geschickte Weise zu beseitigen. Durch die von ihm getroffenen guten Anordnungen war es möglich

Digitized by Google

gemacht, daß in kurzer Zeit mehrere Watt'sche Maschinen fertig hergestellt waren. Diese nun verkaufte er anfänglich gar nicht, sondern vermiethete sie nur gleichsam an Jeden, der sie benutzen wollte. Er unternahm auf eigene Kosten die Aufstellung und selbst die Instandhaltung der Maschinen und verlangte als Miethe bloß den dritten Theil der Summe, welche der durch die neue Einrichtung erzielten Brennstoffersparniß entsprach. Nur wenige Grubenbesitzer machten von dem ihnen so günstigen Anerbieten keinen Gebrauch. Watt und Boulton verliehen auf diese Weise Dampfmaschinen in einem Gesammtwerthe von 300,000 Thaler, ehe sie mit dem Verkauf derselben begannen, und auch hierbei nahmen sie alte Newcomen'sche Maschinen zu verhältnißmäßig sehr hohem Preise als Zahlung an. Aber trotz dieser scheinbaren Großmuth zogen sie aus ihren Maschinen einen außerordentlichen Gewinn. Aus der sich wiederholenden jährlichen Abgabe erwuchs ein schließlicher Preis der Maschinen von ganz ungewöhnlicher Höhe. So bezahlte z. B. die Grube von Chacewater, wo drei Dampfmaschinen in Thätigkeit waren, für das Drittel der Brennstoffersparniß jährlich 16000 Thaler. An jeder von Watt gelieferten Maschine war ein Zählwerk angebracht, welches die Anzahl der gemachten Kolbenspiele genau angab. War nun einmal bei der Aufstellung der Maschine die Brennstoffmenge ermittelt, welche sie gegen die durch sie verdrängte Newcomen'sche Maschine für eine gewisse Anzahl Kolbenspiele ersparte, so war es leicht, aus der an dem Zählwerk abgelesenen Zahl der Kolbenspiele die Menge des während einer bestimmten Zeit ersparten Brennstoffs herzuleiten. Mit diesem Geschäft war von der Fabrik ein besonderer Reisender beauftragt, der von Zeit zu Zeit nach den Angaben des unter Verschluß befindlichen Zählwerks die an Watt und Boulton zu entrichtende Abgabe erhob.

Doppeltwirkende Watt'sche Maschine.

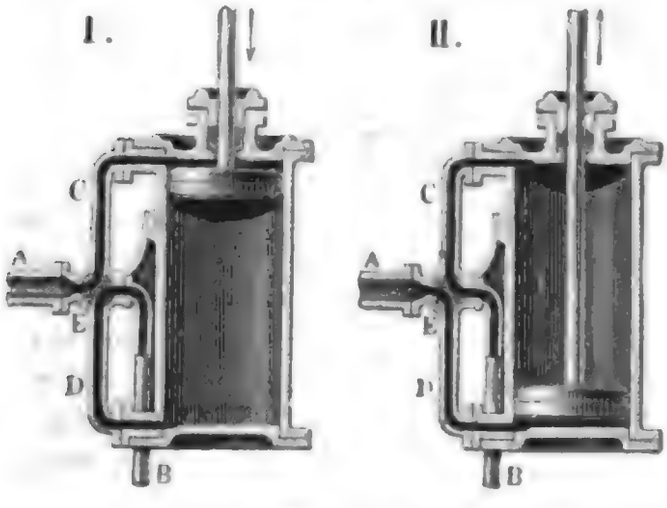
Die einfach wirkende Watt'sche Maschine hatte im Verhältniß zu dem Zwecke, welchem sie dienen sollte, eine hohe Stufe der Vollendung erreicht. Aber dieser Zweck, das Auspumpen der Grubenwasser, bestand, so wichtig er auch für den gesammten Bergbau sein mochte, doch nur in der Ausführung einer einzelnen der zahlreichen Arbeiten, welche von der Industrie gefordert werden. Ein Mann wie Watt konnte sich daher an dem bereits Erlangten nicht genügen lassen, seine Absichten und Pläne gingen weit über dieses hinaus. Er wollte aus der Dampfmaschine eine Kraftmaschine von allgemeinster Anwendbarkeit machen. Ueberall wo Wasser und Brennstoff zu Gebote stehen, sollte die Dampfkraft gebraucht werden können, um jedwede mechanische Arbeit zu verrichten. Ein so allgemeiner Gebrauch der einfach wirkenden Maschine war zweier Umstände wegen nicht möglich. Bei ihr veranlaßt die hin- und hergehende Bewegung des Kolbens bloß wieder eine andere hin- und hergehende Bewegung, nämlich die des Gestänges der zu treibenden Pumpe. Diese Art der Bewegung findet aber unmittelbar nur eine geringe Anwendung, da man alle in Maschinen vorkommenden Bewegungen, so weit es irgend möglich ist, in drehende zu verwandeln sucht. Letztere haben nämlich mancherlei Vorzüge; sie können ununterbrochen und gleichförmig, und fast mit jeder beliebigen Geschwindigkeit statt finden, was alles bei der hin- und hergehenden Bewegung nicht der Fall ist. Dann kann man aus einer drehenden Bewegung leicht andere Drehungen, und selbst verwickeltere Bewegungsarten ableiten. Bei den Wasserrädern, Turbinen und Windmühlen hat man den Vortheil, unmittelbar eine drehende Bewegung zu haben; bei der Dampfmaschine ist dies nicht wohl zu erlangen. Daher

Digitized by Google

mußte Watt zunächst auf Mittel sinnen, wie durch die Bewegung des Kolbens die Drehung einer Welle hervorgebracht werden kann. Waren dieselben gefunden, so konnte von dieser Welle aus mittelst Zahnräder oder Rollen und Riemen jede beliebige Maschine getrieben werden. Die bloße Hervorrufung einer drehenden Bewegung ist aber fast in allen Fällen noch nicht genügend, sondern es muß eben so sehr dafür gesorgt werden, daß die Drehung eine möglichst gleichförmige sei. Hiervon hängt die Güte der mit Maschinen gefertigten Produkte wesentlich ab; ist z. B. die Bewegung der Hauptwelle in einer Spinnerei eine ungleichförmige, so veranlaßt dies ein häufiges Abreißen der Fäden, und hierdurch Verschlechterung des Gespinnstes.

Zur Erzeugung einer gleichförmigen, drehenden Bewegung ist nun aber die einfach wirkende Maschine durchaus nicht geeignet. Denn da bei ihr der Dampfdruck bekanntlich nur während des Kolbenniederganges wirksam ist, so kann sie einen vorhandenen Widerstand nicht stetig und ununterbrochen überwinden, während des Kolbenaufganges ist dazu keine Kraft vorhanden. Watt war daher bemüht, auch die Aufwärtsbewegung des Kolbens durch den Dampfdruck bewirken zu lassen. Um dies zu erreichen, brachte er eine Einrichtung an, welche es möglich machte, sowohl den Cylinderraum oberhalb wie unterhalb des Kolbens abwechselnd mit dem Dampfkessel und dem Condensator in Verbindung zu setzen. Und zwar müssen die Dämpfe unter dem Kolben in den Condensator strömen, wenn über den Kolben neuer Dampf aus dem Kessel gelangt, und umgekehrt. Das Mittel, dessen sich Watt anfänglich zu diesem Zwecke bediente, ist der sogenannte Vierwegehahn; derselbe soll von Papin erfunden und zuerst bei dessen Luftmaschine angewandt worden sein. Der Vierwegehahn hat zwei Durchbohrungen, und kann von vier an ihm ausmündenden Rohre zwei abwechselnd mit jedem der beiden anderen in Verbindung setzen. Wie Watt denselben zur Erreichung seines Zweckes benutzte, ist aus Fig. 192 zu ersehen. Hier ist A das vom Kessel kommende Dampfrohr, B ein nach dem Condensator führendes Rohr, und C und D sind die nach den beiden Enden des Cylinders gehenden Rohre; E ist der Vierwegehahn. Hat derselbe die Stellung wie in I., so strömt durch A und C frischer Kesseldampf über den Kolben, während der unter demselben befindliche Dampf durch D und B nach dem Condensator entweicht. Es wirkt also der Dampfdruck auf die obere Fläche des Kolbens und treibt diesen abwärts. Läßt man nun, wenn der Kolben unten angekommen ist, den Vierwegehahn eine Vierteldrehung machen, so daß er die in II. dargestellte Lage annimmt, so gelangt jetzt durch A und D frischer Dampf unter den Kolben, während der obere Cylinderraum durch C und B mit dem Condensator in Verbindung steht. Der Dampfdruck bewegt also den Kolben aufwärts. Da der Vierwegehahn einige praktische Uebelstände hat, so sind andere, ihn ersetzende Vorrichtungen ausgesonnen worden. Diese

(Fig. 192.)



Digitized by Google

sind höchst mannichfach und zahlreich; die meisten bestehen aus Schiebern oder aus Ventilen, welche auf verschiedene Weise angeordnet sind. In allen Fällen werden diese Organe aber von der Maschine selbst bewegt. Die hierzu dienenden Theile bilden im Verein mit jenen Organen denjenigen Theil der Dampfmaschine, welcher den Namen Steuerung führt. Es ist nicht möglich, hier die verschiedenen und oft sehr complicirten Einrichtungen der Steuerung genauer zu beschreiben. Für den Zweck dieses Aufsatzes ist dies aber auch nicht erforderlich, da derselbe nicht darin besteht, die vollständige Construktion der Dampfmaschine kennen zu lehren, sondern nur darin, dasjenige der Einrichtung dieser Maschine zu deutlichem Verständniß zu bringen, was die Thätigkeit derselben wesentlich bedingt. Wie auch immer die Einrichtung der Steuerung bei einer Maschine sein mag, der Zweck derselben besteht, ausgenommen bei der einfach wirkenden Maschine, in allen Fällen darin, den Dampf aus dem Kessel abwechselnd auf die eine und auf die andere Seite des Kolbens zu führen, und den Dampf auf der entgegengesetzten Kolbenseite entweichen zu lassen. Eine Maschine, bei welcher auf diese Weise sowohl die auf- wie die niedergehende Bewegung des Kolbens durch den Dampfdruck bewirkt wird, heißt eine doppeltwirkende Maschine. Diese Benennung wird häufig dahin mißverstanden, als ob der Dampf bei dieser Maschine eine doppelt so große Wirkung hervorbrächte, als bei der einfach wirkenden. Daß dies durchaus nicht der Fall ist, wird aus dem Vorhergehenden klar sein. Denken wir uns von jeder der beiden Arten eine Maschine, und nehmen an, die Cylinder derselben hätten gleiche Größe und die Kolben machten gleichviel Spiele, so wird die doppeltwirkende Maschine in derselben Zeit freilich doppelt so viel Arbeit leisten, als die einfachwirkende, aber sie wird auch doppelt so viel Dampf als diese verbrauchen. Der Vorzug der doppeltwirkenden Maschine besteht also nicht in einer größeren, sondern nur in der ununterbrochenen und daher regelmäßigeren Wirkung des Dampfdruckes.

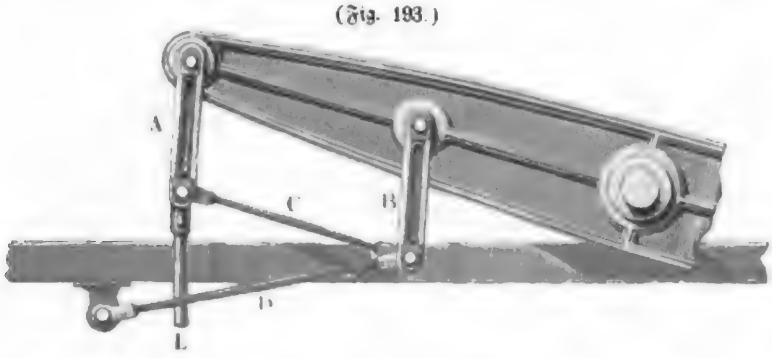
Das Watt'sche Parallelogramm.

Bei der älteren Maschine war, wie früher gesagt, die Kolbenstange mit dem einem Ende des Balanciers durch eine Kette verbunden. Diese Einrichtung war zulässig, da der Kolben das betreffende Balancierende nur nach abwärts zu ziehen brauchte, während umgekehrt der Kolben vom Balancier wieder nach oben gezogen wurde. Soll aber, wie es bei der doppeltwirkenden Maschine sein muß, der Kolben in beiden Richtungen, nach aufwärts und abwärts, auf den Balancier wirken, so ist hierzu die Kette, welche eine Kraft nur in einer und derselben Richtung fortzupflanzen vermag, nicht mehr brauchbar. In diesem Falle muß die Verbindung der Kolbenstange mit dem Balancier durch einen starren, unbiegsamen Körper geschehen. Bei der Verwirklichung dieser Absicht stößt man aber gleich auf eine Schwierigkeit, welche darin besteht, daß die Kolbenstange eine geradlinige Bewegung hat, während das Balancierende einen Kreisbogen beschreibt. Um die letztere Bewegung aus der ersteren zu erhalten, brachte Watt anfänglich an dem Balancierende ein Zahnkranz-Segment an, und verband eine in dieses eingreifende Zahnstange so mit der Kolbenstange, daß sie von dieser die Verlängerung bildete. Diese Vorrichtung erfüllte ihren Zweck zwar, aber doch nur unvollkommen, da das Ineinandergreifen der Zähne viele Stöße veranlaßte. Watt suchte diesem Uebelstande abzuhelfen, und es gelang ihm dies auch auf das Vollkommenste durch die, (1784) gemachte Erfindung eines höchst sinnreichen Mechanismus, welcher nach seinem Urheber das Watt'sche

Digitized by Google

Parallelogramm genannt wird. Daſſelbe hat folgende Anordnung: An dem Balancier, Fig. 193, ſind die beiden gleich langen Stangen A und B drehbar aufgehängt und zwar die eine an dem Balancierende, die andere in einiger Entfernung davon. Die unteren Enden von A u. B ſind durch die Stange C verbunden, aber in der Weiſe, daß A und B gegen C drehbar ſind; an den Verbindungsſtellen ſind zu dem Ende Charniere angebracht. Eine vierte Stange D iſt mit ihrem einen Ende um den Zapfen drehbar, welcher B und C verbindet; durch das andere Ende iſt ein am Maſchinengeſtell befeſtigter Zapfen geſteckt, um welchen die Stange D ſchwingen kann. Das obere Ende der Kolbenſtange E iſt drehbar an dem Zapfen befeſtigt, welcher die Stangen A und C zuſammenhält. Wenn nun durch das Auf- und Niedergehen des Kolbens der Balancier in Bewegung geſetzt wird, ſo beginnt zugleich ein Gegeneinanderbewegen der eben genannten Stangen. Hierbei bilden die Stangen A, B und C fortwährend Seiten eines Parallelogramms, ein Umſtand, welchem der ganze Mechanismus ſeinen Namen verdankt. Giebt man den einzelnen Stangen eine paſſende Länge, und dem feſten Drehpunkt der Stange D eine geeignete Lage, ſo läßt es ſich erreichen, daß, während beim Schwingen des Balanciers drei Eckpunkte des Parallelogramms Kreisbogen beſchreiben, der vierte, in welchem die Kolbenſtange befeſtigt iſt, ſich in einer Linie bewegt, welche von der geraden nur äußerſt geringe, praktiſch zuläßige Abweichungen zeigt. Während alſo das Parallelogramm eine feſte Verbindung zwiſchen dem Balancier und der Kolbenſtange herſtellt, ſichert es zugleich die nothwendige geradlinige Bewegung der letzteren. Jeder, der dieſen Mechanismus einmal an einer in Gang befindlichen Dampfmaſchine betrachtet hat, wird die Feinheit und faſt möchte man ſagen die Zierlichkeit ſeiner Bewegungen bewundert haben. Das Erſinnen dieſer ebenſo zweckmäßig als künſtlich gegliederten Verbindung mag wohl den meiſten Mechanikern, und mit Recht, als eine höchſt ſchwierige Aufgabe erſcheinen. Watt dagegen fand auch in dieſem Falle die Löſung mit der größten Leichtigkeit. Auf die Frage, ob ihm die Erfindung des Parallelogramms viel Rechnen und Nachdenken gekoſtet habe, antwortete er: „Nein, und ich ſelbſt war ſehr erſtaunt über die Vollkommenheit ſeiner Wirkung. Als ich es zum erſten Male in Thätigkeit ſah, empfand ich das gleiche Vergnügen, als ob ich die Erfindung eines Anderen beobachtet hätte.“

(Fig. 193.)



Nachdem ſo ein geeignetes Mittel gefunden war, den abwechſelnd auf die beiden Seiten des Kolbens wirkenden Dampfdruck auf den Balancier zu übertragen, blieb noch ein weiterer ſehr wichtiger Schritt zu thun. Es mußten noch Theile angeordnet werden, durch welche die hin- und herſchwingende Bewegung des Balanciers in die drehende einer Welle verwandelt wird. Vor Watt hatte bereits ein Mechaniker Stewart dieſen Zweck durch ein com- Kurbel.

Digitized by Google

plicirtes Räderwerk zu erreichen versucht, jedoch ohne befriedigenden Erfolg. Das Mittel, welches Watt statt dessen vorschlug, ist so äußerst einfach und scheinbar so naheliegend, daß wohl mancher glaubt, ein Jeder hätte darauf kommen müssen. Und doch zeigt sich gerade in dem sicheren Blick, mit welchem Watt den großen Werth eines schon lange vorhandenen, aber nicht genug gewürdigten Mechanismus erkannte, recht auffällig das Genie des seltenen Mannes. „Von zahlreichen Vorschlägen," sagt Watt, „die mir durch den Kopf gingen, schien mir keiner zur Erreichung des beabsichtigten Zweckes so geeignet, als die Anwendung einer einfachen Kurbel, wie sie beim Schleifstein gebraucht, und hier mit dem Fuße bewegt wird. Es ist dies eine Erfindung von großem Werth, deren Datum und bescheidenen Urheber man freilich nicht kennt." Die Verwendung dieses Mechanismus bei der Dampfmaschine geschieht nun in der Weise, daß an das Ende des Balanciers eine Treibstange drehbar aufgehängt wird. Das untere Ende derselben umfaßt den Zapfen einer Kurbel, welche auf der in Drehung zu setzenden Welle aufgekeilt ist. Während das obere Ende der Treibstange vom Balancier auf und nieder bewegt wird, schwingt dieselbe zugleich hin und her. Aus dieser doppelten Bewegung und dem Umstand, daß das untere Ende der Treibstange durch die Kurbel stets in derselben Entfernung von der Drehungsachse gehalten wird, entsteht die kreisförmige Bewegung des Kurbelzapfens. Die Hervorbringung einer drehenden Bewegung mittelst Kurbel und Treibstange kennt wohl jeder Leser aus eigener Anschauung, da sie, außer bei vielen Schleifsteinen, auch bei jedem Spinnrade vorkommt.

Trotzdem die Anwendung der Kurbel bei der Dampfmaschine von Watt ausgegangen war, sah er sich doch durch einen neckischen Zufall plötzlich genöthigt, auf jene zu verzichten. Sein Vorhaben war einem seiner Concurrenten, Herrn Wasbrough, von einem Arbeiter verrathen worden. Dieser Herr hatte nichts Eiligeres zu thun, als sich ein Patent zu verschaffen, welches die Benutzung der Kurbel bei der Dampfmaschine als sein ausschließliches Recht erklärte. Die englische Patent-Gesetzgebung machte es möglich, daß, während der Gebrauch der Kurbel bei allen anderen Maschinen Jedermann frei stand, Niemand, außer Herrn Wasbrough, dieselbe bei der Dampfmaschine benutzen konnte. Wollte Watt dies dennoch thun, so hätte er den Patentinhaber entschädigen müssen. Dies verschmähte er jedoch und half sich lieber dadurch, daß er einen die Kurbel ersetzenden Mechanismus erfand; es ist dies das sogenannte Planetenrad, eine sinnreiche Verbindung mehrerer Räder. Da dasselbe aber weniger einfach und haltbar ist, als die Kurbel, so kehrte Watt zu der Anwendung der letzteren zurück, sobald das im Wege stehende Patent abgelaufen war.

Schwungrad.

Wie schon früher gesagt wurde, ist es für die allgemeine Anwendbarkeit der Dampfmaschine erforderlich, daß die Drehung der von ihr zunächst bewegten Welle, der sogenannten Kurbelwelle, eine möglichst gleichförmige sei. Hierfür ist aber die Gesammtanordnung der Dampfmaschine wenig günstig. Gleich die erste, vom Dampfdruck unmittelbar hervorgerufene Bewegung, die des Kolbens, ist zur Erzeugung einer gleichförmigen Bewegung nicht sehr geeignet. Denn jedesmal wenn der Kolben oben oder unten im Cylinder angekommen ist, und seine Bewegung aus der einen Richtung in die gerade entgegengesetzte übergeht, gelangt derselbe für den Augenblick vollständig zur Ruhe. Kein Körper kann aber plötzlich eine gewisse Geschwindigkeit annehmen oder verlieren. Die Geschwindigkeit des Kolbens zwischen seinen beiden Ruhe-

Digitized by Google

punkten muß daher anfänglich wachsen, einmal einen größten Werth erreichen, und von hieran wieder bis zum Verschwinden abnehmen. Die Bewegung des Kolbens ist also eine ungleichförmige, und veranlaßt zunächst eine eben solche Bewegung des Balanciers, an welcher das obere Ende der Treibstange Theil nimmt. Der auf den Kolben wirkende Dampfdruck ist während eines Kolbenschubes auch nicht ganz constant; am Anfang des Kolbens ist er etwas kleiner als während des übrigen Theiles. Dieser veränderliche Druck pflanzt sich natürlich bis zur Treibstange fort. Soll aber diese die Kurbelwelle gleichförmig umtreiben — wenn der Bewegung der letzteren ein gleichförmiger Widerstand entgegenwirkt — so müßte sowohl der in der Richtung der Treibstange wirkende Druck, als namentlich auch die Neigung derselben gegen die Kurbel unveränderlich sein. Beides ist nun nicht der Fall. Wenn die Kurbel ihren höchsten oder tiefsten Stand hat, so fällt ihre Richtung mit der Treibstange zusammen, und es kann diese dann gar nicht auf Umdrehung der Kurbel wirken. Aus diesem Grunde heißen auch jene beiden Stellungen der Kurbel die todten Punkte derselben. Ueber diese vermag der bloße Dampfdruck die Kurbel nicht hinweg zu bringen. Aber auch zwischen den beiden todten Punkten ist die Wirkung der Treibstange auf die Kurbel eine sehr veränderliche. Bewegt sich dieselbe von einem todten Punkte bis zum anderen, so ist die von der Treibstange auf sie ausgeübte Wirkung anfänglich gleich Null, sie wächst dann bis zu einem Maximum an, und nimmt von diesem wieder bis zu Null ab. Daß dies, wenn nicht für Abhülfe gesorgt würde, eine sehr ungleichförmige Drehung der Kurbelwelle verursachen müßte, oder wohl gar eine ununterbrochene Bewegung derselben (der todten Punkte wegen) unmöglich machen könnte, ist leicht einzusehen. Also auch die doppeltwirkende Maschine ist noch nicht so ohne Weiteres zu einer allgemeinen Kraftmaschine geeignet; es muß vorher noch gelingen, ihren Bewegungen die nöthige Stetigkeit und Regelmäßigkeit zu verleihen. Hierzu giebt es glücklicherweise ein sehr einfaches Mittel: die Anbringung eines Schwungrades. Ein solches ist ein Rad von beträchtlichem Durchmesser, dessen Kranz ein großes Gewicht hat. Meist wird das Schwungrad auf der Kurbelwelle befestigt, so daß es sich mit dieser drehen muß.

Es ist, wenn wie hier, nur wenige Kenntnisse aus der Mechanik vorausgesetzt werden dürfen, nicht ganz leicht, die Rolle zu erklären, welche das Schwungrad bei der Thätigkeit der Dampfmaschine spielt. Daß dasselbe die Kraft der Maschine vermehre, ist eine ziemlich verbreitete, aber durchaus irrige Ansicht. Das Schwungrad kann einzig und allein den Zweck erfüllen, die drehende Bewegung der Kurbelwelle zu einer genügend gleichförmigen zu machen. Sehr ähnlich ist die Wirkungsweise eines Schwungrades derjenigen eines Sammelteiches bei einer Wasserleitung. Denken wir uns eine solche, bei welcher der Wasserabfluß möglichst gleichförmig sein soll, während sich der Zufluß zwischen gewissen Grenzen fortwährend ändert. In diesem Falle darf man den Abfluß nicht unmittelbar vom Zufluß abhängen lassen, indem sonst die Unregelmäßigkeit des letzteren direkt auf jenen übertragen würde. Die Abhängigkeit zwischen Zu- und Abfluß läßt sich aber, wenn auch niemals ganz aufheben, doch bis zu jedem beliebigen Grade verringern, wenn in die Leitung ein genügend großer Wasserbehälter eingeschaltet wird. Fließt dann in einer gewissen Zeit mehr Wasser zu, als regelmäßig abfließen soll, so veranlaßt dies zunächst ein Steigen des Wassers im Sammelteiche, in Folge dessen auch der Abfluß zunimmt. Aber diese Vermehrung des Abflusses wird

Digitized by Google

bedeutend kleiner sein, als der gleichzeitige Ueberschuß des Zuflusses, denn der größte Theil von diesem wird von dem Sammelteiche einstweilen aufgenommen. Findet in einer folgenden Periode das Entgegengesetzte statt, beträgt der regelmäßige Abfluß mehr als der augenblickliche Zufluß, so kann der Mangel zum größten Theil aus dem Inhalte des Sammelteiches ersetzt werden, indem derselbe nun wieder hergiebt, was er in der vorhergehenden Periode zurückgehalten hat.

Ist die Wirkung, welche der Dampfdruck in einer gewissen Zeit auf die Kurbelwelle ausübt, größer als diejenige, welche während derselben Zeit die von der Maschine zu überwindenden Widerstände in Anspruch nehmen, so veranlaßt jener Ueberschuß eine schnellere Bewegung der ganzen Maschine. Diese Zunahme der Geschwindigkeit wird aber um so geringer sein, je größer die Masse ist, welche daran Theil nehmen muß. Daher wird ein Schwungrad von bedeutendem Gewicht eine aus der eben genannten Ursache entstehende Beschleunigung des Ganges der Maschine zu mäßigen vermögen. Es nimmt dasselbe dabei, indem seine Bewegung etwas schneller wird, die im Augenblick nicht zu Verwendung kommende Wirkung des Dampfdruckes in sich auf; ähnlich wie ein Sammelteich das zuviel zuströmende Wasser. Diese aufgenommene Wirkung spart das Schwungrad gleichsam auf, bis in einer anderen Periode die Wirkung des Dampfdruckes kleiner ist, als zu einer gleichförmigen Ueberwindung der Widerstände erforderlich ist. Der Gang der Maschine muß dann langsamer werden; da aber in Folge dessen das Schwungrad die früher aufgesammelte Arbeit wieder abgiebt, so mäßigt dasselbe jetzt eben so die Verzögerung, wie früher die Beschleunigung des Maschinenganges. Die Thätigkeit des Schwungrades macht es auch der Maschine möglich, mit Leichtigkeit über die beiden todten Punkte, in denen der Dampf gar keine Wirkung ausübt, hinweg zu kommen. Während jeder Umdrehung der Kurbel tritt die Wirkung des Dampfdruckes zu derjenigen, welche die Ueberwindung der Widerstände gleichförmig in Anspruch nimmt, in eine Reihe von Verhältnissen, welche, so lange der Dampfdruck und die Widerstände sich nicht ändern, für alle einzelnen Kurbelumdrehungen in genau der gleichen Weise wiederkehren. Die Geschwindigkeit der Kurbelwelle wird daher auch für die einzelnen Umdrehungen zwischen denselben Grenzen schwanken. Diese Grenzen kann man nun eben durch das Gewicht und die Umfangsgeschwindigkeit, welche man dem Schwungrade giebt, beliebig einander nähern, und so eine für den jedesmaligen Fall genügende Gleichförmigkeit der drehenden Bewegung der Kurbelwelle erzielen.

Drosselklappe.

Das Schwungrad vermag nur diejenige Ungleichförmigkeit der Wirkung des Dampfes zu mildern und auszugleichen, welche durch die Einrichtung der Maschine während jeder Kurbeldrehung verursacht wird. Dasselbe kann indeß nicht verhindern, daß die Maschine einen schnelleren oder langsameren Gang annimmt, wenn von den beiden Größen: Druck des Dampfes auf den Kolben, und Widerstand, welchen die Maschine zu überwinden hat, die eine sich ohne die andere, oder nicht übereinstimmend mit ihr, ändert. Dieser Fall müßte aber, wenn keine Vorkehrung dagegen getroffen würde, bei jeder Dampfmaschine häufig eintreten. Denn hat eine solche z. B. mehrere hundert Webstühle oder Spinnmaschinen zu treiben, so werden sich von denselben immer einige nicht in Thätigkeit befinden, bald mehr, bald weniger. Dies verursacht nun gleich, daß diese Dampfmaschine einen regellos wechselnden, bald größeren, bald kleineren Widerstand zu bewältigen hat. Eben so leicht

Digitized by Google

ist die Dampfspannung Aenderungen unterworfen. Es werden solche durch jede Ungleichförmigkeit in der Unterhaltung des Feuers und in der Zuführung von frischem Wasser in den Kessel hervorgerufen, und auch die sorgfältigste Wartung vermag sie nicht ganz zu vermeiden. Kann nun der Dampf durch ein genügend weites Rohr unbehindert aus dem Kessel in den Cylinder strömen, so wird in diesem stets dieselbe Dampfspannung herrschen, wie in jenem. Ein bald schnellerer, bald langsamerer Gang der Maschine wäre die nothwendige Folge davon, da die Aenderungen in der Dampfspannung und die Aenderungen in dem von der Maschine zu überwindenden Widerstand ganz unabhängig von einander sind. Soll eine Dampfmaschine eine einmal erlangte Geschwindigkeit unverändert beibehalten, so muß der Dampfdruck auf den Kolben gerade so groß sein, wie der Druck, mit welchem bei dieser Geschwindigkeit alle von der Maschine zu überwältigenden Widerstände der Kolbenbewegung unmittelbar entgegenwirken. Aendert sich dieser Druck, so muß gleichzeitig der Dampfdruck auf den Kolben so geändert werden, daß die Gleichheit zwischen beiden fortwährend erhalten bleibt. Um dies bewirken zu können, ist noch eine besondere Vorrichtung nöthig. Dieselbe besteht in einer Klappe — gewöhnlich Drosselklappe genannt — welche in dem Rohre, welches den Dampf vom Kessel nach dem Cylinder führt, angebracht wird, und von außen gedreht werden kann. Ist diese Klappe ganz geöffnet, so strömt der Dampf möglichst unbehindert zum Cylinder hin, und wird dann in diesem eine Spannung besitzen, die nahe gleich ist derjenigen im Kessel; größer wie diese kann sie natürlich nie sein. Wenn aber dieser größtmögliche Druck auf den Kolben mit Rücksicht auf die Wiederstände zu groß ist, so kann man denselben dadurch beliebig verkleinern, daß man die Drosselklappe mehr und mehr schließt. Hierdurch wird nämlich zunächst die Menge des Dampfes, welche in einer gewissen Zeit in den Cylinder einströmt, verkleinert. Man kann nun gerade nur soviel Dampf in den Cylinder gelangen lassen, daß sich derselbe, wenn er in der dem normalen Gange der Maschine entsprechenden Zeit eine Cylinderfüllung bewirken soll, hierbei soviel ausdehnen muß, daß seine Spannung nur noch einen mit den Widerständen in Einklang stehenden Druck auf den Kolben zu äußern vermag. Die Anwendung der Drosselklappe macht also die Dampfspannung im Cylinder unabhängig von der im Kessel, und gestattet es, jene von beliebiger Kleinheit bis zu nahe derjenigen Größe zu verändern, welche die Dampfspannung im Kessel besitzt.

Centrifugal-Regulator.

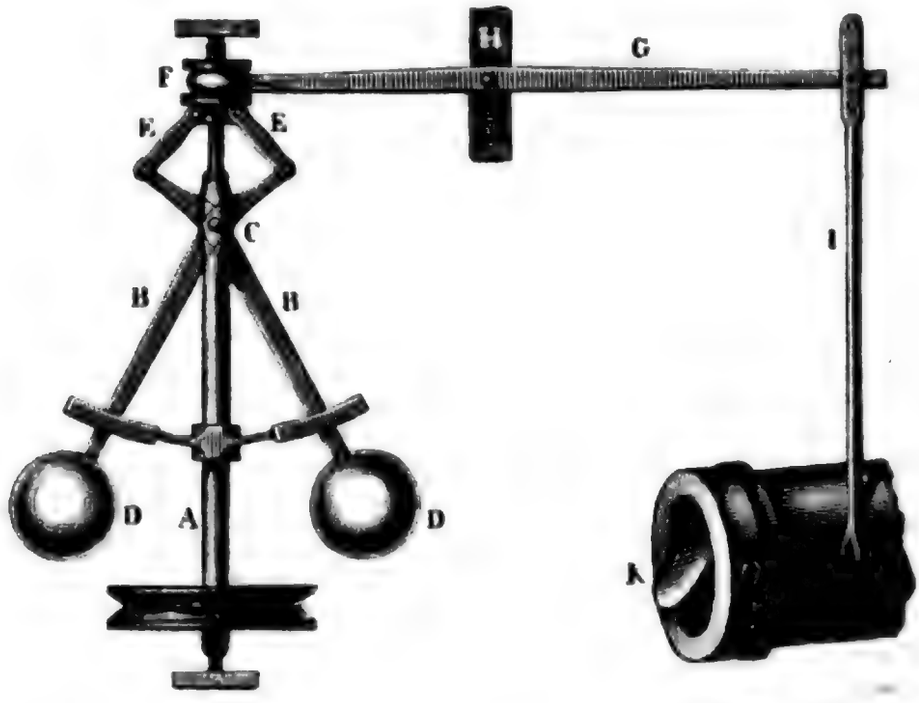
Man könnte nun den Maschinenwärter damit beauftragen, der Drosselklappe stets eine solche Stellung zu geben, daß die normale Geschwindigkeit der Maschine unverändert bliebe. Diese Einrichtung würde aber den Gang der Maschine zu sehr von der Aufmerksamkeit und Sorgfalt des Wärters abhängig machen. Watt, der in seinem Vaterlande überall die segensreichen Erfolge der Selbst-Regierung vor Augen hatte, glaubte mit Recht, daß auch die Dampfmaschine um so vollkommner sei, je mehr sie von der Leitung ihres Wärters unabhängig gemacht, und befähigt werde, ihre Thätigkeit selbst zu regeln und stetig fortzuführen. Hierzu war, wie wir schon früher gesehen haben, die Bewegung der Steuerung durch die Maschine ein erster wichtiger Schritt. Einen zweiten that Watt, indem er einen höchst sinnreichen Mechanismus ersann, welcher die Dampfmaschine in Stand setzt, selbst und ohne jede fremde Hülfe der Drosselklappe fortwährend eine solche Stellung zu geben, daß die Maschine nie bedeutend von ihrem normalen Gange ab-

Digitized by Google

weicht, mögen sich auch die Dampfspannung im Kessel und die zu überwindenden Widerstände beliebig ändern.

Jener von Watt erfundene Mechanismus, welcher den Namen Watt'scher oder Centrifugal-Regulator führt, hat gewöhnlich folgende Einrichtung:

(Fig. 194.)



Eine vertikal stehende Welle A, Fig. 194, wird durch passend angeordnete Lager in ihrer vertikalen Stellung erhalten. Durch einen in der Welle angebrachten Schlitz gehen zwei Hebel B und B hindurch, welche sich beide um den durch sie und die Welle hindurchgesteckten Zapfen C drehen können. Auf die unteren Enden dieser Hebel sind metallne Kugeln D und D von bedeutendem Gewichte aufgesteckt. An den oberen Enden sind mittelst Zapfen die kurzen Stangen E und E drehbar befestigt, deren andere Enden ebenso mit einem Stücke F verbunden sind, welches auf der Welle auf und ab gleiten kann. In eine in das Gleitstück F eingedrehte, ganz herumlaufende Rinne greift das eine Ende des doppelarmigen, um den Zapfen H drehbaren Hebels G ein. An dem anderen Ende desselben ist ein Zapfen angebracht, an dem die Stange I angehängt werden kann. Diese steht unten mit dem Hebel in Verbindung, welcher auf der Achse der Drosselklappe K sitzt. Die beschriebene Anordnung der einzelnen Theile macht es möglich, daß, während die Welle A sich in Umdrehung befindet, auch gleichzeitig noch eine Drehung der Hebel B und B um C stattfinden kann. Geschieht diese Drehung in der Weise, daß die Kugeln sich von einander entfernen, so wird das Gleitstück F abwärts, die Stange I dagegen aufwärts gezogen, und in Folge dessen die Drosselklappe mehr geschlossen. Das gerade Entgegengesetzte tritt ein, wenn sich die Kugeln einander nähern. Die Stellung und Entfernung der Kugeln von einander bedingt also die Stellung der Drosselklappe, und wenn es daher möglich ist, die erstere von der Geschwindigkeit der Maschine abhängig zu machen, so kann diese auch die Stellung der Drosselklappe reguliren. Jenes ist aber leicht zu bewirken, indem man nur eine Einrichtung zu treffen braucht, durch welche die Drehung der Regulatorwelle

Digitized by Google

A von der Kurbelwelle der Maschine aus geschieht. Hierzu kann man z. B. auf beiden Wellen Rollen oder Schnurscheiben befestigen, und um diese einen Riemen oder eine Schnur fest anspannen.

Wenn sich die Regulatorwelle in Ruhe befindet, so wirkt auf die Kugeln nur die Schwerkraft (ihr eigenes Gewicht); sie werden daher eine möglichst tiefe Stellung einnehmen und sich der Welle, so viel es geht, nähern. Sobald aber die Regulatorwelle, und natürlich mit ihr die beiden Kugeln, in Drehung gesetzt werden, so wirkt auf sie noch eine zweite Kraft — die Centrifugalkraft — und treibt sie auseinander. (Die Centrifugalkraft tritt immer auf, wenn ein Körper gezwungen wird, sich im Kreise herum zu bewegen. Man kann sich von ihrem Dasein leicht überzeugen, wenn man einen an einen Faden befestigten Körper mit der Hand herumschwingt; sie ist es, welche hierbei den Faden straff anspannt und zu zerreißen sucht.) Je schneller die drehende Bewegung der Kugeln wird, desto weiter entfernen sie sich von einander; einer bestimmten Geschwindigkeit der Regulatorwelle entspricht aber auch eine ganz bestimmte Stellung der Kugeln. Denken wir uns nun, es werde die Maschine und durch sie der Regulator in Bewegung gesetzt, die Stange I sei aber noch nicht mit dem Hebel G verbunden. Wird dann die Drosselklappe mit der Hand so lange verstellt, bis die Maschine ihren normalen Gang angenommen hat, so wird der Regulator und durch ihn der Hebel G eine gewisse Stellung angenommen haben. Wenn nun an diesen die Stange I so angehängt wird, daß dadurch die gefundene Stellung der Klappe keine Aenderung erfährt, so ist der Regulator im Stande, den normalen Gang der Maschine aufrecht zu erhalten. Denn nehmen wir z. B. an, die Dampfspannung im Kessel werde etwas größer, oder die von der Maschine zu überwindenden Widerstände nähmen etwas ab, so beginnt die Maschine gleich schneller zu gehen. Gleichzeitig wächst aber auch die Geschwindigkeit des Regulators, die Kugeln fliegen weiter auseinander und drehen die Drosselklappe etwas zu. Hierdurch vermindert sich der Dampfzufluß und die Maschine nimmt ihre normale Geschwindigkeit wieder an. Wenn umgekehrt der Gang der Maschine sich aus irgend einer Ursache verlangsamt hat, so fallen die Regulatorkugeln etwas zusammen, und bewirken dadurch ein größeres Oeffnen der Drosselklappe, wodurch dann die Maschine bald wieder ihre gewöhnliche Geschwindigkeit erlangt. Wie man sieht, macht dieser Regulator zwar nicht jedes Abweichen von dem normalen Gange der Maschine unmöglich, aber er schließt dasselbe in genügend enge Grenzen ein.

Soll die Watt'sche Maschine während ihres Ganges möglichst wenig Hülfe von Menschenhand bedürfen, so muß sie auch noch in den Stand gesetzt werden, das zur Condensation erforderliche kalte Wasser selbst herbei zu schaffen, und das im Kessel verdampfte Wasser fortwährend zu ersetzen. Hierzu werden zwei Pumpen angebracht, und zwar so, daß dieselben vom Balancier in Bewegung gesetzt werden können. Die eine derselben, die sogenannte Kaltwasserpumpe, hebt kaltes Wasser zunächst in einem Behälter, von welchem aus dasselbe durch ein mit einem Hahn versehenes Rohr dem Condensator nach Bedarf zugeführt wird. Da das von der Luftpumpe aus dem Condensator herausgeschaffte Wasser eine Temperatur von etwa 40° besitzt, so ist es vortheilhaft, dasselbe zur Speisung des Kessels zu benutzen. Man läßt daher einen Theil des aus der Luftpumpe kommenden Wassers von der zur Kesselspeisung dienenden Pumpe, der Warmwasserpumpe, aufsaugen und in den Kessel drücken.

Digitized by Google

zwei starken gußeisernen Säulen getragen werden. Um das andere Balancierende schwingt die Schubstange M, die unten an den Kurbelzapfen faßt. Auf der Kurbelwelle sitzt das Schwungrad N und eine sogenannte excentrische Scheibe, welche mit Hülfe der Stange K und einiger Hebel die Steuerungskolben auf- und abbewegt. Aus dem die letzteren umschließenden Gehäuse strömt der verbrauchte Dampf durch ein Rohr nach dem Condensator D. In diesen dringt durch eine Brause das Wasser, welches die durch die Stange H bewegte Kaltwasserpumpe herbeischafft. Gleich neben dem Condensator, und mit ihm durch ein Rohr verbunden, befindet sich die Luftpumpe E. In dem Verbindungsrohre ist eine nach der Luftpumpe hin sich öffnende Klappe angebracht. Der Kolben der Luftpumpe trägt wie der einer jeden Saugpumpe, ein oder mehrere Ventile. Dieselben schließen sich, wenn der Kolben sich in die Höhe bewegt, und es tritt dann Wasser aus dem Condensator in die Luftpumpe. Gleichzeitig wird das über dem Kolben befindliche Wasser in das Gefäß F gehoben. Geht der Luftpumpenkolben abwärts, so schließt sich die Klappe nach dem Condensator hin, dagegen öffnen sich die Kolbenventile und durch dieselben dringt das eben unter den Kolben gelangte Wasser nun über denselben. Zur Bewegung der Luftpumpe dient die Stange G. Ein Theil des Condensator-Wassers wird aus dem Gefäße F durch die von der Stange I bewegte Warmwasserpumpe nach dem Kessel geschafft. Diese Pumpe ist in dem vorliegenden Falle als eine kleine Saug- und Druckpumpe construirt. Der Cylinder, die Säulen, welche den Balancier tragen, und das Lager für die Kurbelwelle, ruhen auf starken Fundamenten von Quadersteinen. In diesen ist unter dem Boden des Maschinenhauses eine Art von Grube angebracht, welche den Condensator und die sämmtlichen Pumpen aufnimmt.

Die große Aufgabe, welche Watt sich beim Beginne seiner Laufbahn gestellt, hatte er vollständig gelöst. Die eben beschriebene Maschine ist nicht mehr bloß zum Wasserpumpen geeignet; von ihrer sich gleichförmig drehenden Kurbelwelle aus kann sie mittelst Rädern und Wellen die verschiedensten Arbeitmaschinen einer jeden Fabrik in Thätigkeit setzen. Sie kann Dreh- und Bohrbänke, Webstühle und Spinnmaschinen, Gebläse und Ventilatoren, Hammer- und Walzwerke gleich gut bewegen. Die Dampfmaschine wurde in Folge dessen in England bald die wichtigste Kraftmaschine. Die großen Werkstätten in Soho waren kaum im Stande allen Aufträgen zu genügen. Watt und Boulton erndteten für ihre Mühen und Anstrengungen reichen Lohn — aber auch von vielen Seiten Neid und Mißgunst. Ueberall traten ihnen Nachahmer in den Weg, und versuchten ihre Privilegien zu verletzen und wo möglich ganz umzustoßen. Um ihr geschäftliches Unternehmen gegen dies drohende Unheil zu sichern, ging Watt selbst nach London und verfocht hier während acht Jahren seine angegriffenen Rechte. Endlich krönte der Erfolg seine muthige Ausdauer und alle von seinen Gegnern versuchten Ansprüche wurden zurückgewiesen.

Watt's letzte Jahre.

Als im Jahre 1800 der auf 25 Jahre abgeschlossene Gesellschaftsvertrag zwischen Watt und Boulton zu Ende ging, zogen beide sich gänzlich von den Geschäften zurück. Sie wurden durch ihre Söhne ersetzt, welche die von den Vätern in Soho gegründeten Werke fortführten. Watt schlug seinen Wohnsitz in Heathfield auf, einer Besitzung in der Nähe von Soho, welche er im Jahre 1790 gekauft hatte. Nachdem er einige Jahre Wittwer gewesen war, hatte er zum zweiten Mal geheirathet, und zwar die Tochter

Digitized by Google

eines Fabrikanten, Fräulein Mac-Gregor. Vielseitige Geistesbildung und Sinn für die höheren Interessen des Lebens machten dieselbe zu einer ihres Mannes würdigen Gattin, und dessen Ehe mit ihr zu einer äußerst glücklichen. Die Liebenswürdigkeit und freundliche Milde, von denen Watt's ganzes Wesen durchdrungen war, hatten allen herben Lebenserfahrungen getrotzt und dieselben überdauert. Sein Haus war nach wie vor der Sammelplatz trefflicher Menschen, welche sich an der weisen und friedlichen, und doch überall ins Leben hinaustretenden Philosophie seines Besitzers erfreuten und kräftigten. Eine sehr anschauliche Schilderung dieses schönen Kreises giebt Walter Scott in der Vorrede zu seinem „Kloster". Er sagt daselbst: „Watt war nicht nur der tiefe Gelehrte; derjenige, welcher aus gewissen Verbindungen von Zahlen und Kräften neue Anwendungen gezogen hatte; er nahm nicht nur eine der ersten Stellen unter denjenigen ein, die sich durch die Allgemeinheit ihrer Bildung auszeichnen, er war auch der beste, der liebenswürdigste Mensch. Das einzige Mal, wo ich ihm begegnete, war er von einem kleinen Verein von Schriftstellern aus dem Norden umgeben. Da sah und hörte ich denn, was ich nie wieder sehen und hören werde. Der lebhafte, liebenswürdige und wohlwollende Greis, der in seinem 81sten Jahre stand, nahm an allen Fragen ein reges Interesse; seine Kenntnisse standen Jedem zur Verfügung, der sie in Anspruch nahm. Er verbreitete die Schätze seines Wissens und seiner Einbildungskraft über alle Gegenstände. Unter den Anwesenden befand sich ein gelehrter Sprachforscher; Watt unterhielt sich mit ihm über den Ursprung des Alphabets, als wenn er ein Zeitgenosse von Cadmus gewesen wäre. Als sich ein berühmter Kritiker an der Unterhaltung betheiligte, hätte man sagen sollen, der Greis habe sein ganzes Leben dem Studium der schönen Wissenschaften und der Volkswirthschaftslehre gewidmet. Es wäre überflüssig der Wissenschaften zu erwähnen, da deren Studium seine glänzende und besondere Lebensaufgabe war. Sprach er aber mit unserem Landsmanne Jedidja Cleishbosham, so hätte man schwören sollen, er sei der Zeitgenosse von Claverhouse und von Burley, der Verfolger und der Verfolgten gewesen; und er habe genau die Flintenschüsse gezählt, welche die Dragoner auf die fliehenden Verbündeten abfeuerten. Wir entdeckten zuletzt, daß kein Roman von nur einiger Bedeutung seiner Aufmerksamkeit entgangen, und daß die Leidenschaft des berühmten Gelehrten für diese Art Lectüre ebenso lebhaft war, wie bei einer jungen achtzehnjährigen Putzmacherin."

Watt behielt seine Geisteskräfte ungeschwächt bis an sein Lebensende. In seinen siebziger Jahren glaubte er einmal eine Abnahme derselben zu bemerken. Getreu seinem Wahlspruche, der auf seinem Siegel durch ein Auge mit der Umschrift „Observare" dargestellt wurde, beschloß er gleich, sich durch einen Versuch von dem Grund oder Ungrund seiner Vermuthung zu überzeugen. Er ging zu dem Ende daran das Angelsächsische zu erlernen. Die Leichtigkeit, mit welcher ihm dies gelang, gab ihm die volle Ueberzeugung seiner noch unverminderten Geisteskraft. Im Jahre 1784 war Watt Mitglied der Königl. Gesellschaft in Edinburg, und ein Jahr später Mitglied der Königl. Gesellschaft in London geworden. Die Pariser Akademie der Wissenschaften erwies Watt (1814) die größte Ehre, welche sie verleihen kann: sie ernannte ihn zu einem ihrer acht auswärtigen Mitglieder.

Geliebt von den Seinen, geehrt von seinen Mitbürgern, verlebte Watt in ruhiger Heiterkeit die letzten Jahre seines Lebens. Im Sommer 1819

Digitized by Google

deuteten manche Anzeichen darauf hin, daß sein Ende heran nahte. Watt selbst täuschte sich nicht darüber. Mit Milde tröstete er seine trauernde Familie, und dankte innigst seinem Schöpfer, daß er ihn befähigt habe, seinem Vaterlande so große Dienste zu leisten. Am 25. August 1819 entschlief der edle Greis. In der Pfarrkirche von Heathfield erhielt er seine Ruhestätte. Auf seinem Grabe und in einem der Säle der Universität in Glasgow ließ ihm die kindliche Liebe und Dankbarkeit seines Sohnes Statuen errichten. Seine schottischen Landsleute ehrten Watt, indem sie auf granitnem Sockel eine große broncene Bildsäule von ihm auf einem der öffentlichen Plätze Glasgow's aufstellten.

Das englische Volk, welches den Erfindungen jenes schöpferischen Geistes einen so wesentlichen Theil seiner heutigen materiellen Wohlfahrt verdankt, wollte mit einem Beweise seines Dankes und seiner Anerkennung nicht zurückbleiben. In einer von den bedeutendsten Männern Londons gebildeten Versammlung wurde der Beschluß gefaßt, Watt ein seiner und des Landes würdiges Denkmal in der Westminster-Abtei, dem brittischen Pantheon, zu errichten. Hier, in dieser Ruhmeshalle Großbritanniens, steht heute inmitten der Denkmale berühmter Gelehrten, Staatsmänner und Helden die marmorne Statue des großen Ingenieurs. Dieselbe ist eine der besten Arbeiten Chantrey's; mit großer Treue giebt sie die ruhigen, edlen Züge Watt's wieder. Auf dem Sockel ist folgende, von Lord Brougham verfaßte Inschrift eingegraben:

„Nicht um einen Namen zu verewigen, der dauern wird, so lange die Künste des Friedens blühen werden, sondern um zu zeigen, daß die Menschen diejenigen zu ehren gelernt haben, welche ihres Dankes am würdigsten sind, haben der König, die Minister, viele Edle und andere Bürger des Königreiches dieses Denkmal errichtet für James Watt, welcher, indem er seine frühzeitig an wissenschaftlichen Untersuchungen geübte Geisteskraft zur Vervollkommnung der Dampfmaschine anwandte, die Hülfsquellen seines Landes und die Kraft des Menschen vermehrte, und sich auf einen erhabenen Platz unter den berühmtesten Gelehrten und den wahren Wohlthätern der Menschheit emporschwang. Geboren zu Greenock 1734, gestorben zu Heathfield in Staffordshire 1819."

Maschine ohne Condensation.

Bei allen Maschinen, welche von Watt selbst gebaut wurden, besaß der Dampf eine Spannung von höchstens $1^1/_4$ Atmosphären, und entwich, nachdem er im Cylinder gewirkt hatte, in den Condensator. Diese beiden Eigenthümlichkeiten der Watt'schen Maschine rühren ganz und gar von dem Umstande her, daß ihr Erfinder dieselbe aus der atmosphärischen Maschine heraus entwickelte. Bei dieser war es zur Wirksammachung des Luftdruckes unumgänglich nöthig, auf der einen Seite des Kolbens eine geringere Spannung, als die der Atmosphäre, zu erzeugen; man that dies bekanntlich durch Condensirung von Wasserdampf. Als Watt nun den Luftdruck durch Dampfdruck ersetzte, wandte er den letzteren fast ganz von derselben Größe an, die jener besitzt; er wurde durch jenen gleichsam darauf hingeleitet. Eine unmittelbare Folge davon war, daß Watt auch die Condensation des gebrauchten Dampfes beibehalten mußte.

So große Vorzüge die Watt'sche Maschine auch vor allen ihren Vorgängern hat, so macht doch eben der Umstand, daß bei ihr der Dampf verdichtet werden muß, ihre Anwendung in manchen Fällen schwierig und unvortheilhaft, und in einzelnen sogar unmöglich. Denn einmal sind zur Con-

Digitized by Google

denſation eine Menge von Theilen erforderlich: der Condenſator ſelbſt, die Luftpumpe und die Kaltwaſſerpumpe. Durch dieſe werden aber ſowohl die Herſtellungskoſten der Maſchine, wie der Raum, deſſen dieſelbe bedarf, bedeutend vermehrt. Und dann iſt man manchmal nicht im Stande, an dem Orte, an welchem die Maſchine aufgeſtellt werden ſoll, die zur Condenſation erforderliche Menge kalten Waſſers zu beſchaffen. Die beiden erſt genannten Uebelſtände ſind ſelten von Belang, wenn es ſich um eine größere Maſchine handelt, welche eine ganze Fabrik treiben ſoll; ſie wurden daher auch anfänglich, wo man die Dampfmaſchine faſt nur zu dieſem Zwecke gebrauchte, weniger gefühlt. Als aber die Anwendung der Dampfkraft immer allgemeiner wurde, und auch kleinere Werkſtätten ſie zu benutzen wünſchten, da wurde das Verlangen nach einer Maſchine rege, welche dieſelben Vortheile gewähre, wie die Watt'ſche, aber einfacher und billiger ſei, als dieſe.

Um die Dampfmaſchine zu vereinfachen, war es vor Allem erforderlich, die Verdichtung des Dampfes unnöthig zu machen. Dies läßt ſich aber nur dadurch erreichen, daß man ſich entſchließt, Dampf von beträchtlich höherer Spannung, als die der Atmoſphäre, anzuwenden. Denn wenn man den gebrauchten Dampf ſtatt in den Condenſator, in die freie Luft ſtrömen läßt, ſo herrſcht in dem Cylinderraume vor dem Kolben fortwährend mindeſtens die Spannung der Atmoſphäre. Beſäße nun der treibende Dampf hinter dem Kolben keine höhere Spannung als die der äußeren Luft, ſo wäre eine Bewegung des Kolbens gar nicht möglich, da dieſe nur durch einen *Unterſchied* der Drucke auf die beiden Kolbenflächen hervorgerufen werden kann. Benutzt man dagegen Dampf von 2 Atmoſphären Spannung, und läßt den gebrauchten in die Luft entweichen, ſo wird der auf Bewegung des Kolbens wirkende Druck eben ſo groß ſein, als wenn der treibende Dampf eine Spannung von $1^1/_{10}$ Atmoſphären hat, während im Condenſator eine ſolche von $^1/_{10}$ Atmoſphäre herrſcht. Ob in beiden Fällen der Dampf gleich vortheilhaft wirkt, iſt eine Frage, auf die wir ſpäter noch etwas näher eingehen werden.

Mit Rückſicht darauf, ob der gebrauchte Dampf verdichtet wird oder nicht, theilt man alle Dampfmaſchinen in zwei Hauptgruppen, in Dampfmaſchinen *mit*, und in ſolche *ohne Condenſation*. Dieſe Eintheilung iſt eine weſentliche und ſichere, was beides weit weniger der Fall iſt mit einer anderen, bei welcher die *Größe der Spannung* des Dampfes als Eintheilungsgrund benutzt wird. In Bezug auf dieſe werden *Niederdruck-*, *Mitteldruck-* und *Hochdruck-Dampfmaſchinen* unterſchieden. Zu den erſteren rechnet man diejenigen Maſchinen, bei welchen der wirkende Dampf eine Spannung bis zu etwa $1^1/_2$ Atmoſphären beſitzt. Liegt die Dampfſpannung zwiſchen dieſer Größe und 3 Atmoſphären, ſo wird die Maſchine als Mitteldruck-Maſchine betrachtet, und endlich als Hochdruck-Maſchine, wenn ſie mit Dampf von 3 und mehr Atmoſphären arbeitet. Niederdruck-Maſchinen ſind immer mit einem Condenſator verſehen; bei den beiden anderen Arten iſt derſelbe nicht durchaus erforderlich, indeſſen kann er auch bei ihnen angewandt werden, was in manchen Fällen auch wirklich geſchieht.

Da die Maſchinen ohne Verdichtung durch den Wegfall aller zur Condenſation erforderlichen Theile um ſo Vieles einfacher ſind, als die atmoſphäriſche und die Watt'ſche Maſchine, ſo könnte es — wie ſchon an einer

Digitized by Google

früheren Stelle bemerkt wurde — auf den ersten Blick befremden, daß jene nicht vor diesen erfunden worden und in Gebrauch gekommen sind. Es könnte dies um so mehr auffallen, da sich bereits Savery bei seiner Maschine hochgespannter Dämpfe bediente. Eine Erklärung läßt diese Erscheinung auch nicht zu, und kann man nur, wie es bereits oben geschah, darauf hinweisen, daß sich fast bei jeder Erfindung Aehnliches wiederholt. Freilich war der Umweg ein ziemlich beträchtlicher, auf dem man endlich zur einfachsten und natürlichsten Benutzung der Spannung des Dampfes als bewegende Kraft gelangte.

Leupold.

Als der Erste, der um das Jahr 1725 eine klare und deutliche Idee einer Maschine gegeben hat, welche als Hochdruck-Dampfmaschine zu betrachten ist, muß der deutsche Mechaniker Leupold genannt werden. In seinem großen Werke „Theatrum machinarum“ giebt er von der von ihm ersonnenen Maschine folgende Beschreibung. In jedem von zwei nebeneinander stehenden, unten geschlossenen und oben offenen Cylindern kann sich ein dampfdichtschließender Kolben auf und nieder bewegen. Die beiden Kolbenstangen sind mit den einen Enden zweier Balanciers verbunden, an deren anderen Enden die Kolbenstangen der in Bewegung zu setzenden Pumpen angehängt sind. Aus einem Kessel, in welchem *hochgespannte* Dämpfe erzeugt werden, können diese abwechselnd unter die Kolben der beiden Cylinder geleitet werden. Hat der Dampf einen Kolben bis an das obere Cylinderende getrieben, so wird ihm durch Drehung eines Hahnes ein Ausweg in die Luft verschafft. Der Dampf strömt rasch aus dem Cylinder aus und beide Kolbenflächen erfahren nun den Druck der äußeren Luft, in Folge dessen der Kolben durch sein eigenes Gewicht niedersinkt. Ist er unten angekommen, so kann ein neues Spiel beginnen. Wie man sieht, bildet jeder Cylinder eine einfach wirkende Maschine; um aber dennoch eine stetige Wirkung zu erhalten, schlug der Erfinder die Anwendung zweier abwechselnd thätigen Cylinder vor.

Bis zu einer Ausführung seiner Maschine ist Leupold nicht gekommen, obgleich er von der Möglichkeit einer solchen scheint überzeugt gewesen zu sein. So sagt er an einer Stelle seines Werkes von seiner *Feuermaschine*: „Alles kann so angeordnet werden, daß die Hähne sich von selbst öffnen und schließen, was ich jedoch, eben so wie die Mittel, das Wasser im Kessel zu erneuern, auf der Zeichnung ganz weggelassen habe, da es sich hier nur um eine Skizze handelt, und jenes noch ein genaueres Studium und Versuche erfordert. Ich habe mir vorgenommen, später einen Versuch im Großen zu machen, um zu erfahren, ob man auf diese Weise und mit Vortheil eine Sägemühle in einem Walde errichten könne, wo es genug Holz und Wasser giebt. Aber da mir Zeit und Gelegenheit fehlen, sowohl um auf der Stelle diese Maschine auszuführen, als auch um andere kostspielige Experimente und Untersuchungen anzustellen, so gebe ich mich der Hoffnung hin, daß vielleicht der eine oder andere Liebhaber die Gelegenheit ergreifen wird, die ich ihm darbiete, um über diesen Gegenstand einige Versuche zu machen.“ In Deutschland war aber damals das industrielle Leben noch zu sehr in seiner Kindheit, als daß man hier eine Verfolgung und Nutzbarmachung der Leupoldschen Vorschläge hätte erwarten können.

In England war zu jener Zeit die Newcomen'sche Maschine eben in Gebrauch gekommen, und da man mit deren Leistungen vorläufig zufrieden war, so blieb auch hier die Idee unseres Landsmannes fast ganz unbeachtet. Watt kannte dieselbe zwar und behielt sich gleich in seinem ersten Patente

Digitized by Google

(unter 4tens) das Recht vor, bei seinen Maschinen hochgespannte Dämpfe benutzen zu dürfen, und dieselben, wenn sie im Cylinder gewirkt hätten, in die Luft entweichen zu lassen. Er hat von diesem Rechte aber niemals Gebrauch gemacht, und so lange Watt die Fabrik in Soho leitete, ist in den dortigen Werkstätten keine Hochdruckmaschine gebaut worden.

Olivier Evans.

Eine wirkliche und ausgedehnte Benutzung in der Industrie sollte der Hochdruckdampf zuerst in einem Lande finden, welches sich bis dahin noch gar nicht bei der Vervollkommnung der Anwendung des Dampfes betheiligt hatte: in Nordamerika. Das größte Verdienst hierbei erwarb sich Olivier Evans. Dieser war im Jahre 1755 geboren, und arbeitete als einfacher Stellmacher in Philadelphia, als er (1772) durch die Beschreibung eines seiner Brüder von einem in Amerika beliebten Knabenspiele darauf aufmerksam gemacht wurde, daß eingeschlossener Dampf eine bedeutende Spannkraft erlangen kann. Diese Mittheilung wurde für Evans der erste Anstoß zu sehr erfolgreichen Arbeiten. Er besaß ein sehr bedeutendes Talent für praktische Mechanik, und hatte, wie es bei Leuten dieser Art fast immer der Fall ist, schon öfter über die Entdeckung einer neuen Triebkraft nachgedacht. In dem Wasserdampfe glaubte er das Gesuchte gefunden zu haben, und da sein Interesse einmal auf diesen gerichtet war, so blieb ihm auch nicht lange verborgen, in welcher Weise man in England bereits den Dampf zum Betriebe einer Kraftmaschine benutzte. Aus einigen Beschreibungen lernte er die Einrichtung und das Wesen der atmosphärischen und der Watt'schen Maschine kennen. Da aber Evans wahrscheinlich die geschichtliche Entwickelung der Dampfmaschine nicht deutlich übersah, so mußte es ihm offenbar sehr auffallen, den Dampf, wie es bei jenen Maschinen geschieht, mehr mittelbar als direkt benutzt zu sehen. Er ließ es sich nun eifrigst angelegen sein, eine möglichst einfache Anwendung des Dampfes zu verwirklichen, und eine Maschine ohne Condensation, eine Hochdruckmaschine, zu construiren. Seine betreffenden Versuche gelangen vollständig, und benutzte er bei seiner Maschine Dampf von einer Spannung bis zu 10 Atmosphären. In Folge dieser Arbeiten wandte Evans sich ganz dem Maschinenfache zu, in welchem er auch noch auf anderen Gebieten Bedeutendes leisten sollte. So brachte er namentlich an den in seinem Vaterlande sehr unvollkommenen Getreidemühlen so wesentliche Aenderungen und Verbesserungen an, daß dieselben von da ab allgemein als Muster galten, und unter dem Namen amerikanische Mühlen auch in anderen Ländern Eingang fanden. Die von ihm gebauten Mühlen wurden meist von Dampfmaschinen nach seiner Construktion getrieben. Ein Lieblingsgedanke von Evans war die Benutzung seiner Dampfmaschine zum Fortbewegen eines Wagens. Nach vielen Versuchen, welche sein ganzes Vermögen aufgezehrt hatten, gelang es ihm auch gegen Ende des Jahres 1800 einen Wagen herzustellen, der sich, durch Dampfkraft getrieben, in den Straßen von Philadelphia bewegte. Aber trotz aller Mühe konnte er Niemanden finden, der ihm die nöthigen Geldmittel zur Ausbeutung seiner Erfindung geben wollte, und so sah er sich nach zwanzigjährigem Verfolgen seines Planes zuletzt genöthigt, demselben zu entsagen. Er beschäftigte sich von nun ab fast ausschließlich mit der Erbauung von Hochdruckmaschinen, zu deren Anfertigung er bedeutende Werkstätten in Philadelphia und später auch in Pittsburg anlegte. Die letzteren wurden am 11. März 1819 durch eine Feuersbrunst zerstört. Auf Evans wirkte dieses Unglück so vernichtend ein, daß er es nur vier Tage überlebte. Durch die zahl-

Digitized by Google

reichen von ihm ausgeführten Hochdruckmaschinen hat er denselben in Amerika allgemein Bahn gebrochen. Und auch in England fingen, sobald mit dem Jahre 1800 das Watt'sche Patent abgelaufen war, einzelne Ingenieure an, Maschinen ohne Condensation zu bauen; doch behauptete in diesem Lande die ältere Maschine noch während vieler Jahre fast die Alleinherrschaft.

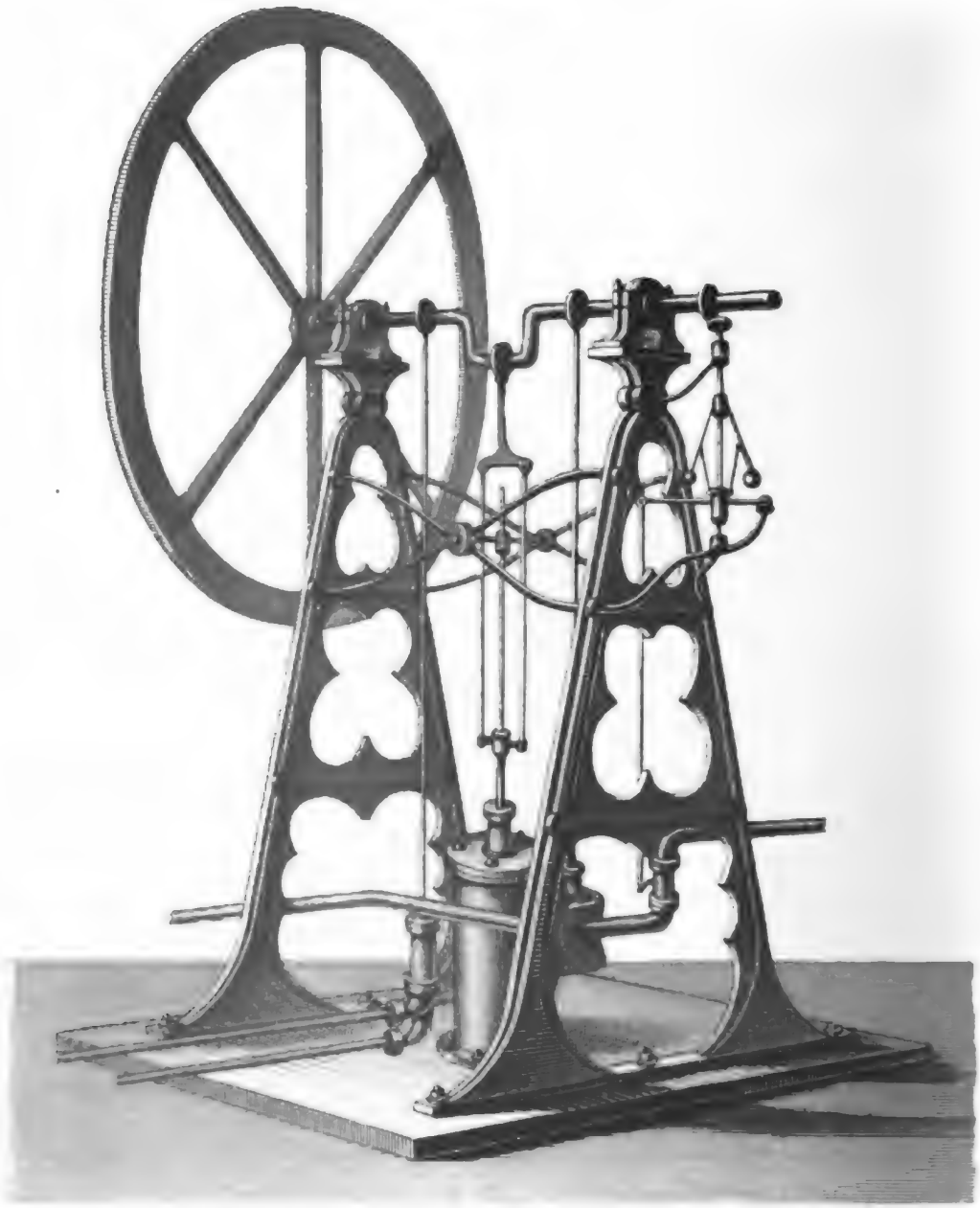
In den einzelnen Theilen ist die Maschine ohne Condensation nicht wesentlich verschieden von der Watt'schen, nur daß ihr natürlich alle diejenigen Theile fehlen, welche bei letzterer zur Verdichtung des Dampfes dienen. Einrichtung und Zweck des Cylinders nebst Kolben, der Steuerung, der Kurbel, des Schwungrades, des Regulators und der Pumpe zur Kesselspeisung sind bei beiden Maschinenarten nahe gleich; die erstere unterscheidet sich aber gewöhnlich durch die Anordnung und die Verbindung der genannten Theile zur vollständigen Maschine. Bei der Watt'schen Maschine befindet sich zwischen der Kolbenstange und der Schubstange der Balancier, an dessen beiden Enden jene angehängt sind. Diese Einrichtung ist besonders deshalb vortheilhaft, weil der Balancier sich sehr gut dazu eignet, die verschiedenen bei dieser Maschine vorkommenden Pumpen zu bewegen.

Da dieser Grund für die Anbringung eines Balanciers bei der Maschine ohne Condensation nicht vorhanden ist, so läßt man einen solchen bei dieser auch gewöhnlich weg. Die ganze Maschine wird dadurch weit zusammengedrängter, und hinsichtlich der Stellung des Cylinders, welche bei der Watt'schen Maschine nicht wohl eine andere als eine vertikale sein kann, gewinnt man eine bedeutende Freiheit. Wird die Kolbenstange unmittelbar mit der Schubstange verbunden, so ist das Watt'sche Parallelogramm nicht mehr sehr geeignet, die geradlinige Bewegung der Kolbenstange zu sichern. Man erreicht diesen Zweck dann einfacher dadurch, daß man das Ende der Kolbenstange zwischen zwei Leisten, den sogenannten Geradführungen, hin und her gleiten läßt.

Eine Dampfmaschine ohne Condensation, wie sie wohl für kleinere Leistungen gebaut wird, ist in Fig. 196 dargestellt. Auf einer gemeinsamen Bodenplatte sind sowohl der Cylinder, wie die beiden Böcke festgeschraubt, welche die Lager tragen, in denen die über dem Cylinder liegende Kurbelwelle ruht. Auf das Ende der Kolbenstange ist ein kleines Querstück aufgesteckt, an dessen beide Endzapfen das eine Ende der gabelförmigen Schubstange anfaßt. Das obere Ende derselben umfaßt eine in der Kurbelwelle angebrachte sogenannte Verkröpfung, welche bei der vorliegenden Anordnung an die Stelle der eigentlichen Kurbel tritt. Die gerade Richtung der Kolbenstange wird dadurch gesichert, daß eine die Verlängerung derselben bildende Stange durch ein am Maschinengestelle befestigtes Auge hindurchgeht und auf diese Weise geführt wird. Rechts am Dampfcylinder ist das Gehäuse angebracht, in dem sich der Schieber befindet, welcher den Dampf abwechselnd über und unter den Kolben leitet. Die Bewegung dieses Schiebers wird durch ein auf der Kurbelwelle sitzendes Excentric bewirkt. Der frische vom Kessel kommende Dampf tritt durch ein in der Figur rechts befindliches Rohr, in das Schiebergehäuse hinein, und durch ein zweites, nach links geführtes Rohr entweicht der gebrauchte Dampf in die freie Luft. In dem Dampf-Zuleitungsrohr befindet sich die Drosselklappe, deren Stellung von einem Watt'schen Schwungkugel-Regulator regulirt wird. Ein zweites auf der Kurbelwelle befindliches Excentric setzt die links vom Cylinder angebrachte Speisepumpe in Bewegung, durch welche das im Kessel verdampfte

Digitized by Google

(Fig. 196.)



Wasser wieder ersetzt wird. Das die Bewegung der Maschine gleichförmig machende Schwungrad ist auf der Kurbelwelle, dicht neben dem einen Lager, befestigt. Eine Vergleichung der eben beschriebenen Maschine mit der früher besprochenen doppelt wirkenden Watt'schen läßt am besten erkennen, um wie Vieles jene in ihrer Einrichtung einfacher ist als diese.

Expansions-Maschine.

Bei den beiden Arten der Dampfmaschine, die wir bis jetzt kennen gelernt haben, sowohl bei der Maschine mit, wie bei der ohne Condensation, wird die Wirkung des Dampfes nicht vollständig ausgenutzt. Denn der gebrauchte Dampf besitzt, wenn er aus dem Cylinder austritt, eine höhere Spannung, als wie in dem Raume herrscht, nach welchem er entweicht. So hat z. B. bei der Watt'schen Maschine der den Cylinder verlassende Dampf

Digitized by Google

eine Spannung von etwa einer Atmosphäre, während die Spannung im Condensator nur $^1/_{10}$ Atmosphäre beträgt. Bei der Maschine ohne Condensation besitzt der entweichende Dampf meist eine Spannung, welche um mehrere Atmosphären größer ist, als der gewöhnliche Luftdruck. Nun ist aber klar, daß aus diesem Spannungsunterschied ein Verlust an der möglichen Leistung des Dampfes entsteht. Denn so lange der Dampf hinter dem Kolben noch eine größere Spannung besitzt, als in dem Cylinderraume vor dem Kolben herrscht, vermag der Dampf auch noch eine gewisse Leistung zu entwickeln. Es giebt nun ein einfaches Mittel, um zu bewirken, daß am Ende des Schubes die Spannungen zu beiden Seiten des Kolbens nur wenig von einander verschieden sind. Und zwar besteht dieses Mittel darin, daß man nicht, wie es bisher immer angenommen wurde, bis zum Ende des Kolbenschubes fortwährend Dampf in den Cylinder treten läßt, sondern daß man den Dampfzufluß absperrt, nachdem der Kolben einen gewissen Theil seines Schubes durchlaufen hat. Befindet sich auf diese Weise ein Theil, z. B. die Hälfte oder ein Drittel des Cylinders mit Dampf gefüllt, dessen Menge nicht weiter durch Zufluß aus dem Kessel vermehrt wird, und besitzt dieser abgesperrte Dampf eine höhere Spannung, als vor dem Kolben herrscht, so wird er sich in Folge seiner Spannkraft ausdehnen, und zwar in ähnlicher Weise, wie comprimirte Luft es thun würde. Bei dieser Ausdehnung treibt er den Kolben noch fortwährend vorwärts, aber freilich mit stets kleiner werdender Kraft. Denn der Druck auf den Kolben nimmt im umgekehrten Verhältniß ab, in welchem das Volumen des abgesperrten Dampfes zunimmt. Es ist nun leicht einzusehen, daß man den Dampfzufluß gerade bei einer solchen Stelle des Kolbenschubes unterbrechen kann, daß der Dampf am Ende des Schubes mit einer Spannung aus dem Cylinder entweicht, welche nur wenig größer zu sein braucht, als die der freien Luft, oder die im Condensator stattfindende. Besitzt z. B. bei einer Maschine ohne Condensation der anfänglich in den Cylinder einströmende Dampf eine Spannung von $3^1/_2$ Atmosphären, und läßt man den Dampfzufluß nach $^1/_3$ des Kolbenschubes aufhören, so entweicht der Dampf am Ende des Schubes mit einer Spannung von nur $1^1/_6$ Atmosphären. Denn da der abgesperrte Dampf sich auf das Dreifache seines anfänglichen Volumens ausgedehnt hat, so ist seine Spannung hierbei auf $^1/_3$ seiner ursprünglichen herabgesunken.

Maschinen, bei denen nur während eines gewissen Theiles des Kolbenschubes Dampf aus dem Kessel in den Cylinder strömt, welcher dann während des übrigen Theiles des Kolbenlaufes durch Ausdehnung — Expansion — wirkt, werden gewöhnlich Expansions-Maschinen genannt. Der Gedanke, den Dampf auch durch Expansion wirken zu lassen, scheint Watt anzugehören, doch hat er von diesem Principe bei den von ihm erbauten Maschinen nur eine sehr beschränkte Anwendung gemacht. Erst Olivier Evans machte sich alle Vortheile zu Nutze, welche die Expansion des Dampfes zu gewähren vermag, und brachte es durch dieses Mittel dahin, daß seine Hochdruckmaschinen ohne Condensation selbst den Watt'schen Maschinen hinsichtlich des Brennstoffverbrauches überlegen waren. Der Mittel, die Absperrung des Dampfes zu bewirken, giebt es sehr verschiedene. Gewöhnlich bringt man zu diesem Behufe ein Ventil oder einen zweiten Schieber an, deren rechtzeitige Bewegung von der Kurbelwelle aus geschieht.

Um von den Vortheilen, welche die Expansion des Dampfes gewährt, eine klare Vorstellung zu bekommen, bedenke man Folgendes. Läßt man

Digitized by Google

Dampf von z. B. $2^1/_2$ Atmosphären während des ganzen Kolbenlaufes in den Cylinder einströmen, so wird derselbe eine gewisse Wirkung erzeugen. Sperrt man aber den Zufluß dieses Dampfes bei der Hälfte des Kolbenschubes ab, so wird man bis zu diesem Augenblicke halb soviel Dampf verbraucht und halb soviel Wirkung erhalten haben, als bei jener ganzen Cylinderfüllung. Während der zweiten Hälfte des Schubes wird nun gar kein neuer Dampf mehr gebraucht, wohl aber durch die Ausdehnung des abgesperrten noch eine gewisse Wirkung gewonnen. Die frühere Absperrung des Dampfes hat also die Wirkung desselben in geringerem Grade als den Verbrauch verkleinert, und es findet dies bei jeder Benutzung der Expansion statt. Das eben Bemerkte läßt sich auch in der Weise ausdrücken, daß man sagt, eine und dieselbe Dampfmenge könne eine um so größere Leistung erzeugen, jemehr man den Dampf durch Expansion wirken lasse. So erzeugt z. B. irgend welche Dampfmenge, wenn man den Zufluß des Dampfes absperrt, nachdem der Kolben 0,8, 0,6, 0,4, 0,2 seines Schubes zurückgelegt hat, 1,223-, 1,509-, 1,916-, 2,609mal soviel Wirkung, als wenn man den Dampf während des ganzen Schubes in den Cylinder einströmen läßt. An welcher Stelle des Schubes man in jedem einzelnen Falle die Expansion am besten beginnen läßt, hängt, außer von verschiedenen praktischen Rücksichten, hauptsächlich davon ab, wieviel Mal die Spannung des Dampfes vor der Absperrung größer ist, als die Spannung in dem Cylinderraume vor dem Kolben. Je mehrere Male die letztere Spannung kleiner ist als jene, je früher kann man das Zuströmen des Dampfes unterbrechen.

Da der Kolben am Ende eines jeden Schubes zur Ruhe kommen, und eine Bewegung in gerade entgegengesetzter Richtung beginnen muß, so ist es auch mit Rücksicht auf die Sanftheit dieses Bewegungswechsels sehr vortheilhaft, nicht bis zum letzten Augenblicke eines Schubes frischen Dampf in den Cylinder treten zu lassen. Denn der Wechsel in der Bewegung des Kolbens wird natürlich um so leichter vor sich gehen, je weniger am Ende des Schubes die Pressungen auf die beiden Kolbenflächen von einander verschieden sind. — Endlich gewährt eine Expansions-Maschine auch noch den Vortheil, daß man sie sehr leicht zu verschieden großen Leistungen benutzen kann. Um die Leistung einer solchen Maschine zu vergrößern, ist es nämlich nur nöthig, die Absperrung des Dampfes später beginnen zu lassen. Maschinen, welche eine solche Einrichtung haben, daß die Größe oder der Grad der Expansion verändert werden kann, heißen *Maschinen mit veränderlicher Expansion*. Häufig ist die Anordnung so getroffen, daß der Expansionsgrad geändert werden kann, ohne daß deßhalb der Gang der Maschine unterbrochen zu werden braucht. Auch findet man zuweilen die Einrichtung, daß der Kugelregulator nicht, wie wir es bei der Watt'schen Maschine gesehen haben, auf die Drosselklappe, sondern auf das Absperrungsventil wirkt, und zwar so, daß er dieses früher schließt, und also die Expansion früher beginnen macht, wenn der Gang der Maschine ein schnellerer geworden ist, und umgekehrt.

Der großen Vortheilhaftigkeit, mit welcher bei der Expansionsmaschine der Dampf benutzt wird, stehen jedoch auch einige Nachtheile gegenüber. Zu diesen gehört namentlich der, daß eine Expansionsmaschine ein weit größeres Schwungrad bedarf, wie eine Maschine, welche bei gleicher Leistung ohne Expansion arbeitet; vorausgesetzt, daß bei beiden Maschinen der Gang denselben Grad der Gleichförmigkeit besitzen soll. Bei Besprechung der doppeltwirkenden Watt'schen Maschine ist weitläufiger dargelegt worden, warum zur

Digitized by Google

Erzielung eines gleichförmigen Ganges die Anbringung eines Schwungrades erforderlich ist. Zu den bei jener Maschine erwähnten Gründen tritt nun bei der Expansionsmaschine noch der Umstand hinzu, daß bei ihr der Dampfdruck auf den Kolben während eines größeren oder kleineren Theiles des Schubes ein fortwährend abnehmender ist. Die Folgen, welche diese Veränderlichkeit der treibenden Kraft für die Regelmäßigkeit des Ganges der Maschine hat, können aber nur dadurch aufgehoben werden, daß man dem Schwungrad ein größeres Gewicht oder größere Abmessungen giebt. — Ferner steht eine Maschine mit Expansion einer gleich starken ohne Expansion auch darin nach, daß sie für alle Theile größere Abmessungen erfordert, als letztere, wodurch denn weiter ein größerer Anschaffungspreis bedingt wird. Dieser sollte jedoch im Allgemeinen nie von der Benutzung der Expansionsmaschinen abhalten, da er schon binnen kurzer Zeit durch die Brennstoffersparniß, welche die Absperrung des Dampfes gewährt, reichlich aufgewogen wird.

Woolf'sche Maschine.

Anstatt die Ausdehnung des Dampfes in demselben Cylinder geschehen zu lassen, in welchen der Dampf direct aus dem Kessel eintritt, kann man für die Expansion auch einen besonderen, zweiten Cylinder anbringen. Diesen Gedanken verwirklichte zuerst der Engländer Arthur Woolf (1804). Er stellte zwei Cylinder dicht neben einander, von denen der eine einen etwa vier Mal so großen Inhalt hat, als der andere. Der Dampf, der eine Spannung von zwei bis drei Atmosphären besitzt, tritt aus dem Kessel zunächst in den kleineren Cylinder, und zwar während des ganzen Kolbenschubes. Am Ende desselben entweicht der Dampf, aber nicht in die freie Luft oder in den Condensator, sondern zunächst in den größeren Cylinder, und erst wenn er in diesem durch Expansion gewirkt hat, wird er schließlich verdichtet. Die Woolf'sche Maschine hat gewöhnlich eine ähnliche Einrichtung, wie die Watt'sche. Wo bei dieser der Dampfcylinder steht, befindet sich bei jener der größere oder Expansionscylinder. Unmittelbar neben demselben, in der Richtung des Balanciers, steht der kleinere Cylinder, der gerade soviel kürzer ist als der größere, daß in beiden die Kolben immer gleichzeitig an dem oberen oder unteren Ende ihres resp. Schubes ankommen. Eine deutliche Vorstellung von der Wirkungsweise des Dampfes bei dieser Maschine wird der Leser durch die Beachtung des Folgenden gewinnen können. Durch die Dampfkolben wird jeder der beiden Cylinder in zwei von einander getrennte Räume getheilt. Der Kürze wegen mögen die Räume *über* und *unter* dem Kolben im *kleineren* Cylinder mit ü und u, und die entsprechenden Räume im *größeren* Cylinder mit Ü und U bezeichnet werden. Nehmen wir nun an, die beiden Kolben seien gerade am oberen Ende ihres Schubes angekommen; dann wird der Raum u mit dem Dampfkessel, der Raum Ü mit dem Condensator, und die Räume ü und U werden unter einander in Verbindung stehen. Sollen die Kolben jetzt niedergehen, so muß über den Kolben im kleinen Cylinder, also in den Raum ü, Dampf aus dem Kessel einströmen, nachdem vorher die Verbindung der Räume ü und U aufgehoben, und statt deren eine Verbindung zwischen den Räumen u und Ü hergestellt worden ist. Gleichzeitig muß dem Dampfe unter dem großen Kolben ein Weg nach dem Condensator geöffnet werden. Im ersten Augenblicke nach Herstellung dieser verschiedenen neuen Verbindungen erfahren die beiden Flächen des kleineren Kolbens fast ganz denselben Druck, während die untere Fläche des größeren Kolbens nur den geringen Druck erleidet, welcher der Spannung im Condensator entspricht. Dieser Druck, sowie der auf die

Digitized by Google

obere Fläche des kleineren Kolbens bleiben während des ganzen Niederganges der Kolben constant. Anders ist es aber mit den Pressungen auf die untere Fläche des kleineren, und auf die obere Fläche des größeren Kolbens. Diese beiden Pressungen sind pro Flächeneinheit fortwährend einander gleich, nehmen aber mit dem Niedergehen der Kolben stetig ab, da hierbei der Dampf aus dem unteren Raume des kleineren Cylinders in den mehrmals größeren Raum des anderen Cylinders übertritt. In Folge hiervon nimmt der Unterschied der Drucke auf die beiden Flächen des kleineren Kolbens fortwährend zu, jemehr derselbe niedergeht, während dieser Unterschied bei dem größeren Kolben gleichzeitig abnimmt. Bei dem Aufwärtsgehen der Kolben finden den eben erörterten ganz analoge Vorgänge statt.

Hinsichtlich des Brennstoffverbrauchs ist die Woolf'sche Maschine etwas weniger vortheilhaft, als die Expansionsmaschine mit Einem Cylinder, wenn man bei dieser den Dampf ebenfalls in einen Condensator entweichen läßt. Außerdem ist letztere Maschine, wegen ihrer größeren Einfachheit, billiger als jene. Die Vorzüge der zwei-cylindrigen Maschine bestehen darin, daß sie bei gleich ausgedehnter Benutzung der Expansion einen gleichförmigeren Gang hat, als eine ein-cylindrige Maschine, weßhalb sie auch eines weniger schweren Schwungrades bedarf, als diese. Ihres regelmäßigen Ganges wegen wird die Woolf'sche Maschine gewöhnlich zum Betriebe von Spinnereien und Webereien benutzt, für welchen Zweck gerade jene Eigenschaft besonders werthvoll ist. — In neuerer Zeit hat man zuweilen die Einrichtung getroffen, daß der Dampf schon in dem kleineren Cylinder anfängt, durch Expansion zu wirken, und diese dann in dem größeren Cylinder nur noch weiter getrieben wird.

Die gleichzeitige Anwendung der Expansion und Condensation ist die vortheilhafteste Weise, die Spannkraft des Wasserdampfes zu benutzen, welche man bis heute aufgefunden hat. Eine Expansionsmaschine, welche mit einem Condensator versehen ist, gebraucht zur Erzeugung der gleichen Leistung fast nur halb soviel Brennstoff, als eine doppelt wirkende Watt'sche Maschine. Aus diesem Grunde werden letztere Maschinen auch fast gar nicht mehr gebaut.

Hauptarten der Dampfmaschine.

Wir haben nun sämmtliche Hauptarten, auf welche die Spannkraft des Dampfes als Triebkraft benutzt werden kann, kennen gelernt. Jeder derselben entspricht auch eine Hauptart der Dampfmaschine. Kurz zusammengestellt sind es die folgenden:

1) Maschinen ohne Condensation und ohne Expansion;
2) Maschinen ohne Condensation, aber mit Expansion;
3) Maschinen mit Condensation, aber ohne Expansion;
4) Maschinen mit Condensation und mit Expansion.

Nach jeder dieser vier Arten können, je nachdem es der Zweck erfordert, sowohl einfach- wie doppeltwirkende Maschinen gebaut werden.

Die Maschine ohne Condensation und ohne Expansion, gewöhnlich die einfache Hochdruckmaschine genannt, wird da gebraucht, wo es weniger auf Brennstoffersparniß, als darauf ankommt, daß die Maschine möglichst einfach und raumersparend sei. Es wird bei ihr Dampf angewandt, dessen Spannung mindestens drei Atmosphären beträgt. Man benutzt die einfache Hochdruckmaschine besonders dann, wenn einzelne Arbeitmaschinen nur zeitweise betrieben werden sollen. Für diesen Zweck wird dieselbe auch häufig bloß einfach wirkend construirt. Sie besteht dann meist nur aus einem oben offnen Cylinder, in welchem ein Kolben vom Dampfe in die Höhe getrieben wird. Der Schieber, welcher den Ein- und Austritt des Dampfes bewirkt,

Digitized by Google

wird gewöhnlich einfach von der Hand des Arbeiters bewegt. Das die Arbeit verrichtende Werkzeug wird dann möglichst direct mit der Kolbenstange verbunden; dies ist z. B. der Fall bei Niethmaschinen, bei Lochmaschinen und bei Blechscheeren.

Die Maschine mit Expansion, aber ohne Condensation, ist die gebräuchlichste Maschine zum Betriebe von Fabriken aller Art. Ist an einem Orte der Brennstoff sehr theuer, so wird, besonders dann, wenn die Maschine eine größere Leistung erzeugen soll, Expansion und Condensation gleichzeitig angewandt. In beiden Fällen benutzt man aber Dampf von mindestens $2^1/_2$ Atmosphären Spannung. — Zur Wasserförderung beim Bergbau werden heutzutage fast nur noch einfach wirkende Maschinen mit Expansion und Condensation gebraucht. Dieselben sind zuerst und am häufigsten in der englischen Grafschaft Cornwall gebaut worden, wovon sie den Namen Cornwall'sche oder Cornische Maschinen erhalten haben. Da bei ihnen die Gleichförmigkeit der Bewegung nicht wesentlich ist, so treibt man die Expansion des Dampfes sehr weit. Es gewähren daher auch diese Maschinen von allen Dampfmaschinen die verhältnißmäßig größten Leistungen. — Zu den Maschinen mit Condensation, aber ohne Expansion, gehört die eigentliche Watt'sche Maschine, die aber jetzt nicht mehr gebraucht wird.

Bis zum Jahre 1815 wurden fast nur in England Dampfmaschinen gebaut, und zwar hielt man sich dabei sehr strenge an die Anordnungen, welche Watt, und später Woolf angegeben hatten. Erst als nach dem Frieden die auf dem Continent durch die langen Kriege gänzlich gestörte Industrie wieder anfing einige Fortschritte zu machen, begann man auch, namentlich in Frankreich und Deutschland, Versuche mit dem Bau von Dampfmaschinen zu machen. Hierbei fand gleich anfänglich die Maschine ohne Condensation eine größere Berücksichtigung, als ihr in England zu Theil wurde. Jemehr Fabriken sich aber allmählig mit dem Bau von Dampfmaschinen beschäftigten, desto zahlreichere und verschiedenere Anordnungen wurden auch für sie ausgesonnen, von denen fast jede den einen oder anderen Vorzug hat. Manche jener Anordnungen verdanken freilich ihr Entstehen nur dem Wunsche, Dampfmaschinen von neuer, von Anderen noch nicht versuchter Zusammenstellung zu bauen. Es ist natürlich nicht möglich, auf alle diese verschiedenen Modificationen in der Anordnung hier näher einzugehen. Nur einige der wesentlichsten mögen noch kurz erwähnt werden. Während man anfänglich dem Cylinder immer eine vertikale Stellung gab, ging man später dazu über, denselben in geneigter oder gar in ganz horizontaler Lage anzubringen. Besonders das letztere gewährt den Vortheil, daß sowohl die Fundirung einfach und solid herzustellen ist, wie auch den, daß die Maschine sehr leicht beaufsichtigt werden kann. Solche *Maschinen mit liegendem Cylinder*, wie sie gewöhnlich genannt werden, haben in neuerer Zeit sehr vielfache Anwendung gefunden, besonders zum Betriebe von Walzwerken, Hämmern, Mühlen, Gebläsen u. s. w.

Maschine mit schwingendem Cylinder.

Bei allen bis jetzt erwähnten Maschinenanordnungen ist die Stellung des Dampfcylinders eine ganz feste, und die Bewegung des Kolbens wird entweder bloß durch eine Schubstange, oder durch diese in Verbindung mit einem Balancier auf die Kurbelwelle übertragen. In der Absicht nun, die Schubstange ganz entbehrlich zu machen, und die Kolbenstange direct an den Kurbelzapfen angreifen zu lassen, hat man eine Anordnung ausgesonnen, bei welcher die Dampfmaschine wohl den möglich kleinsten Raum einnimmt.

Digitized by Google

Man hat nämlich den Cylinder selbst beweglich gemacht, und zwar in der Weise, daß er um zwei an seinem oberen Ende, oder in der Mitte seiner Länge angebrachte Zapfen schwingen kann. Bei dieser Einrichtung kann sich das äußere Ende der Kolbenstange in einem Kreise bewegen, wenn der Kolben im Cylinder auf- und niedergeht, während dieser gleichzeitig hin und her schwingt. Verbindet man daher die Kolbenstange mit dem Kurbelzapfen, und läßt den Kolben durch den Dampfdruck hin und her bewegen, so wird die Verbindung zwischen Kurbelzapfen, Kolbenstange und Cylinder die nöthige schwingende Bewegung des letzteren veranlassen. Um den Dampf in den Cylinder ein, und aus demselben herauszuleiten, benutzt man die beiden Zapfen, um welche der Cylinder schwingt, und zwar in der Weise, daß man durch den einen derselben frischen Dampf in den Cylinder eintreten, und durch den anderen den gebrauchten Dampf entweichen läßt. Die Aufhängung des Cylinders kann so geschehen, daß seine Längenachse bei seiner mittleren Stellung eine verticale, geneigte oder horizontale Richtung hat. Da die Instandhaltung der Maschinen mit *schwingendem* oder *oscillirendem Cylinder* etwas schwieriger ist, als die der Maschinen mit festem Cylinder, so werden jene meist auch nur da angewandt, wo ihr Vorzug der Raumersparniß und eines geringen Gewichtes besonders in die Wagschale fällt, z. B. auf Dampfschiffen.

Gekuppelte Maschinen.

In einzelnen Fällen macht der vorhandene Raum die Anbringung eines Schwungrades unmöglich. Da aber eine Maschine ohne ein solches einen sehr unregelmäßigen Gang hat, ja nur mit Mühe über die todten Punkte hinüberkommt, so ist man genöthigt, das fehlende Schwungrad durch eine besondere Einrichtung zu ersetzen. Gewöhnlich besteht diese darin, daß man statt der *einen* Maschine, zwei von der halben Kraft anwendet, und diese so auf eine gemeinschaftliche Kurbelwelle wirken läßt, daß die beiden Kurbeln unter einander einen rechten Winkel bilden. Befindet sich dann die eine Kurbel in einem ihrer todten Punkte, so ist die andere in der Nähe ihrer günstigsten Stellung. Solche Maschinen werden gewöhnlich *gekuppelte* oder *Zwillingsmaschinen* genannt, und manchmal auch da angewandt, wo die Kurbelwelle ein Schwungrad trägt, indem dieses dann für dieselbe Gleichförmigkeit des Maschinenganges bedeutend leichter werden kann. Die beiden zusammenwirkenden Maschinen können entweder neben einander, oder auch zu beiden Seiten der Kurbelwelle, also einander gegenüber stehen. Die häufigste Anwendung finden gekuppelte Maschinen auf den Dampfschiffen und bei den Locomotiven.

Rotations-Maschine.

Wenn eine Dampfmaschine eine Welle in Drehung versetzen soll, so ist es offenbar ein Umweg, zuerst die hin- und hergehende Bewegung eines Kolbens zu erzeugen, und erst aus dieser die drehende Bewegung abzuleiten. Man war daher auch schon kurz nach Erfindung der Dampfmaschine bemüht, eine solche Anordnung derselben auszusinnen, bei welcher der Dampf unmittelbar eine drehende Bewegung bewirkt. Zahlreiche Vorschläge sind in dieser Hinsicht gemacht, und zum Theil auch ausgeführt worden, ohne daß man bis jetzt das gewünschte Ziel erreicht hätte. Auch Watt trat bereits mit einem Vorschlage zu einer *Rotations-Dampfmaschine* hervor, und sicherte sich das Recht, solche zu bauen, schon in seinem ersten Patente (unter Nr. 5); doch hat er von demselben keinen Gebrauch gemacht. Bei den bisher versuchten Maschinen dieser Art war es meist die Größe des Dampfverlustes oder der schädlichen Reibung und Abnützung, woran eine

Digitized by Google

vortheilhafte Benutzung scheiterte. — Seit einigen Jahren erst wird in England eine Dampfmaschine verschiedentlich angewandt, bei welcher die Drehung einer Welle ziemlich direct bewirkt wird. Es ist dies die sogenannte Scheibenmaschine — disk-steam-engine — bei welcher eine in einem Gehäuse eingeschlossene Scheibe durch den Dampf eine eigenthümlich schaukelnde Bewegung erhält; so zwar, daß das Ende der Achse, auf welcher die Scheibe fest sitzt, eine kreisförmige Bewegung annimmt, und auf diese Weise ein Rad in Drehung zu setzen vermag.

Der Dampfhammer.

Schließlich mögen noch zwei durch Dampf getriebene Maschinen erwähnt werden, die in neuerer Zeit eine häufige Benutzung gefunden haben: der Dampfhammer und die Dampframme. Beide sind von dem englischen Ingenieur James Nasmith erfunden und in die Praxis eingeführt worden. Der Dampfhammer besteht der Hauptsache nach aus einem von einem Gestelle getragenen Cylinder, durch dessen Boden die Kolbenstange hindurchgeht. An dem unteren Ende derselben ist der Hammer direkt befestigt. Läßt man nun hochgespannten Dampf unter den Kolben treten, so wird der Hammer in die Höhe gehoben, und fällt durch sein Gewicht frei herab, sobald man den Dampf entweichen läßt. Ist der Cylinder oben geschlossen, so kann man, indem man Dampf auf die obere Fläche des Kolbens wirken läßt, die Wirkung und die Geschwindigkeit des herabfallenden Hammers noch bedeutend vergrößern. Durch eine besondere Vorrichtung läßt sich die Fallhöhe des Hammers mit Leichtigkeit verändern, und indem man den unter dem Kolben befindlichen Dampf schneller oder langsamer aus dem Cylinder entweichen läßt, oder den Austritt desselben gar vollständig hemmt, kann man die Fallgeschwindigkeit des Hammers in jedem beliebigen Grade mäßigen und denselben an jedem Punkte seines Weges anhalten und zum Stillstehen bringen. Zum Beweise, wie vollständig sie die Wirkung des Dampfhammers in ihrer Gewalt haben, machen die einen solchen bedienenden Arbeiter gerne den Versuch, mit dem viele Centner schweren Hammer eine Haselnuß zu öffnen, und zwar so, daß der Kern derselben ganz unverletzt bleibt. Dabei halten sie die Nuß mit den Fingern auf dem Ambos fest. Der Verfasser sah dieses Kunststück in den großen Werkstätten des Arsenals in Woolwich mehreremal wiederholen, ohne daß es einmal mißlungen wäre. Für die Bearbeitung des Schmiedeeisens sind die Dampfhämmer von großer Wichtigkeit geworden. Dieselben werden in neuerer Zeit fast allgemein angewandt, um bei der Umwandlung des Roheisens in Schmiedeisen durch den Puddelprozeß die dem Eisen mechanisch beigemengten fremden Stoffe zu entfernen. Das Eisen wird zu dem Ende in glühendem Zustande mehrmals unter dem Hammer durchgearbeitet, gleichsam geknetet. Ferner macht es die Anwendung des Dampfhammers möglich, manche Maschinentheile aus Schmiedeeisen anzufertigen, die ihrer großen Dimensionen oder ihrer schwierigen Formen wegen früher nur aus Gußeisen hergestellt wurden. Jede gut eingerichtete Maschinenfabrik kann eines Dampfhammers gar nicht mehr entbehren.

Die Dampframme.

Die Dampframme ist ebenfalls von Nasmith erfunden worden, und nach ähnlichen Grundsätzen construirt wie der Dampfhammer. Wie bei diesem der Hammer, so ist bei jener der Rammklotz direct mit der Kolbenstange eines vertikal stehenden Dampfcylinders verbunden. Um trotz des fortwährenden Einsinkens des einzurammenden Pfahles eine solche directe Wirkung der Dampfmaschine auf den Rammklotz zu ermöglichen, hat Nasmith eine sehr sinnreiche Einrichtung getroffen. Am unteren Ende des Cylinders

Digitized by Google

sind nämlich zwei starke Leitschienen befestigt, zwischen denen sich der Rammklotz auf und nieder bewegt. Diese Leitschienen umfassen den Kopf des einzurammenden Pfahles und sitzen auf einem an diesem ausgearbeiteten Ansatze fest auf, so daß der Dampfcylinder mit den zugehörenden Theilen von dem Pfahle selbst getragen wird, und diesem also beim Einsinken fortwährend folgt. Das Zuleitungsrohr des Dampfes besteht aus mehreren beweglich unter einander verbundenen Stücken. Zur geradlinigen Führung des Dampfcylinders und des einzuschlagenden Pfahles dient ein hoher, vertikal stehender Pfosten, der an seinem unteren Ende mit einer kleinen Plattform verbunden und gegen diese fest verstrebt ist. Auf dieser Plattform ist der Dampfkessel angebracht, sowie zwei Häspel, von denen der eine dazu dient, den Dampfcylinder nach beendetem Einrammen eines Pfahles wieder in die Höhe zu winden, und der andere, die Pfähle emporzurichten und in die nöthige vertikale Stellung zu bringen. Beide Häspel werden durch eine kleine auf der Plattform befestigte Dampfmaschine mit liegendem Cylinder in Bewegung gesetzt. Der Rammklotz hat gewöhnlich ein Gewicht von 20 bis 50 Centner, und eine Fallhöhe von $2^1/_2$ bis 3 Fuß. Die Beschleunigung der Arbeit, sowie die Verminderung der Kosten derselben, sind bei Anwendung der Dampframme sehr bedeutend. Dieselbe wird deshalb auch häufig gebraucht, wo bei größeren Wasserbauten umfangreiche Rammarbeiten vorzunehmen sind. So sind bei den großen Brückenbauten über die Weichsel, sowie bei dem Bau der Pfeiler für die neue Rheinbrücke bei Köln mehrere Dampframmen benutzt worden.

Transportable Dampfmaschinen.

Für manche Zwecke ist die Dampfmaschine erst in den letzteren Jahren und zwar dadurch anwendbar gemacht worden, daß man ihr eine Einrichtung giebt, welche gestattet, sie mit Leichtigkeit von einem Orte zum anderen zu schaffen. Zu dem Ende wird der Dampfkessel nicht eingemauert, sondern erhält eine Anordnung ähnlich der bei der Locomotive. Mit diesem Dampfkessel wird dann die eigentliche Dampfmaschine in eine möglichst directe und raumsparende Verbindung gebracht, und beide auf einem mit Rädern zur Fortbewegung versehenen Gestelle befestigt. Die ganze Maschine kann so, wie jeder Wagen, nach dem Orte hingefahren werden, wo man ihrer Leistung gerade bedarf. Um diese fortzuleiten, wird gewöhnlich um das Schwungrad der Maschine und um eine mit der zu treibenden Maschine verbundenen Rolle ein Riemen geschlungen. Von besonderer Wichtigkeit sind die transportablen Maschinen besonders für die Landwirthschaft geworden, indem diese sich erst hierdurch die Dampfkraft ebenso zu Nutzen machen konnte, wie die übrigen Gewerbe. In England findet man auf den meisten größeren Gütern eine kleine Dampfmaschine, welche zum Betriebe von Dreschmaschinen, Schrotmühlen, Häckselmaschinen und dergleichen gebraucht wird. Auch bei manchen Bauten kann man sich mit Vortheil einer transportablen Dampfmaschine bedienen, um Materialien auf die Gerüste zu heben, die Baugrube auszupumpen, Mörtel zu mahlen u. s. w.

Dampfkessel.

Bis hierhin ist nur die Dampfmaschine selbst betrachtet worden; es erübrigt nun noch, einiges über die Apparate zu sagen, welche zur Erzeugung des erforderlichen Dampfes dienen. In allen Fällen wird der Dampf in größeren, aus Metall gefertigten Gefäßen entwickelt, die, welches auch sonst ihre Form sein möge, den Namen Dampfkessel führen. Watt bediente sich bei seinen Maschinen einer Art von Dampfkessel, deren Grundform die eines vierseitigen, an beiden Enden geschlossenen Rohres war; dabei waren

Digitized by Google

die beiden Seitenwände, sowie der Boden etwas nach innen eingebogen, die Decke dagegen war etwas gewölbt. Solche Kessel — unter dem Namen Kofferkessel bekannt — sind aber nur dann anwendbar, wenn die Spannung des Dampfes die der äußeren Luft nur wenig übersteigt. Denn der auf die innere Kesselwandung wirkende Dampfdruck hat fortwährend das Bestreben, den im Querschnitt viereckigen Kessel in einen cylindrischen zu verwandeln. Um diese Formänderung zu verhindern, müssen bei einem Kofferkessel die gegenüberstehenden Wände durch starke Zugstangen gegeneinander gehalten werden. Offenbar ist die Form des Watt'schen Kessels eine hinsichtlich der Festigkeit ungünstige, und da bei der gleichmäßigen Wirkung des inneren Dampfdruckes auf den Kessel die cylindrische Form desselben die einzige ist, welche auch durch die größte Dampfspannung nicht geändert werden kann, so verdrängten cylindrische Kessel die älteren sehr bald, als man anfing höher gespannte Dämpfe anzuwenden. Der einfache cylindrische Kessel ist fast überall, wo man den nöthigen Raum zu seiner Aufstellung hat, der solideste und beste. Die Feuerung wird bei demselben so angeordnet, daß etwa die Hälfte seiner äußeren Oberfläche von den heißen Gasen berührt wird. Man nennt den Theil der Kesselfläche, welcher vom Feuer und den brennbaren Gasen bestrichen wird, gewöhnlich die Feuerfläche. Je größer dieselbe bei einem Kessel ist, jemehr Dampf vermag derselbe in einer gewissen Zeit zu erzeugen. Im Mittel genügt für die stündliche Entwickelung von 1 Pfund Dampf eine Feuerfläche von $^1/_4$ Quadratfuß.

Der Wunsch, bei Kleinerhaltung des ganzen Kessels doch eine möglichst große Feuerfläche zu erhalten, hat dazu geführt, mit dem einfachen cylindrischen Kessel verschiedene Modificationen vorzunehmen. Zuerst brachte man unter dem Hauptkessel ein oder zwei cylindrische Rohre — Siedröhren oder Bouilleurs genannt — an, welche durch kurze Rohrstücke mit jenem in Verbindung stehen. Diese Siedröhren sind ganz mit Wasser gefüllt und werden ringsum vom Feuer umspült. Der Hauptkessel, welcher auch den Dampfraum enthält, kommt hierbei nur mit den bereits etwas abgekühlten Feuergasen in Berührung, und wird in Folge dessen merklich geschont. Die ganze Anordnung ist indessen durchaus nicht zu empfehlen, da der sich in den Siedröhren bildende Dampf nur schwer aus diesen entweichen kann und an der innern Rohrwand eine förmliche Schicht bildet, welche als schlechter Wärmeleiter das Eindringen von Wärme wesentlich behindert. Zur Vergrößerung der Heizfläche hat man auch, und zwar zuerst in England, durch einen cylindrischen Kessel der Länge nach ein oder zwei weite Rohre hindurchgelegt, und in diesen den Rost und die Feuerung angebracht. Die heißen Gase streichen hierbei zuerst durch jene Rohre hindurch und werden dann auch nochmals an der äußeren Kesselwand entlang geführt. Solche Kessel, gewöhnlich Cornische Kessel genannt, haben den Uebelstand, daß die weiten Feuerrohre, auf welche der Dampfdruck von außen nach innen wirkt, leicht unrund werden und einen ovalen Querschnitt annehmen. Dies ist aber einmal für die Festigkeit des Kessels gefährlich, und dann verursacht es auch leicht ein Leckwerden desselben. — Die verhältnißmäßig bedeutendste Vergrößerung der Heizfläche läßt sich aber dadurch erhalten, daß man die durch einen cylindrischen Kessel hindurchgehenden Röhren von geringem Durchmesser, etwa von $1^1/_2$ bis $2^1/_2$ oder 3 Zoll, aber in großer Anzahl nimmt. Die Verbrennung des Brennstoffes geschieht dann in einem besonderen, vor dem Kessel angebrachten Feuerraum, aus dem die heißen Gase durch die vollständig

Digitized by Google

von Wasser umgebenen Rauchröhren des Kessels nach dem Schornsteine abziehen. Solche Röhrenkessel werden immer da angewandt, wo möglichste Compendiösität des Kessels eine wesentliche Bedingung ist, z. B. bei Locomotiven und häufig auch auf Dampfschiffen.

In der ersten Zeit wurden die Dampfkessel zuweilen aus Gußeisen oder auch wohl aus Kupfer gefertigt. Das Gußeisen eignet sich hierzu aber durchaus nicht, da seine Festigkeit eine zu geringe, und die Gefahr des Zerspringens beim Kessel aus diesem Material zu groß ist. Das Kupfer ist, was seine Eigenschaften betrifft, für den gedachten Zweck zwar sehr passend, allein sein Preis ist zu hoch, um eine solche Verwendung zuzulassen. Gegenwärtig werden alle Dampfkessel aus Eisenblech hergestellt, und zwar aus einzelnen Platten, welche mittelst Niethen unter einander verbunden werden. Die Dicke der Platten richtet sich einestheils nach der größten Spannung, welche der zu erzeugende Dampf soll erreichen dürfen, und anderentheils nach den Abmessungen des Kessels. In den bedeutenderen industriellen Staaten ist die Dicke des jedesmal anzuwendenden Kesselblechs durch besondere gesetzliche Verordnungen vorgeschrieben.

Jeder Dampfkessel darf nur zum Theil mit Wasser angefüllt sein, damit stets eine solche Menge Dampf vorhanden ist, daß die kleinen Veränderungen in der Produktion und in dem Abflusse des Dampfes nicht zu bedeutende Schwankungen in der Spannung desselben hervorrufen. Gewöhnlich werden $^3/_5$ des Kesselraumes vom Wasser, und $^2/_5$ vom Dampfe eingenommen. Damit der nach der Maschine entweichende Dampf nicht zu viele Wassertheilchen mit sich fortreiße und möglichst trocken sei, bringt man in der Regel noch einen besonderen Aufsatz auf dem Kessel an, den sogenannten Dampfdom, und leitet erst von diesem aus den Dampf nach dem Cylinder hin. — Das Wasser muß fortwährend alle Theile der Kesselwand bedecken, welche außen von den heißen Gasen berührt werden. Denn sobald solche Stellen vom Wasser entblößt sind, ist Gefahr da, daß dieselben glühend und so die Veranlassung zu Kesselexplosionen werden. Enthält das Wasser, womit der Kessel gespeist wird, aufgelöste Salze, z. B. Kalksalze, so schlagen sich dieselben bei der Verdampfung des Wassers nieder, und bilden an der Kesselwand meist harte Krusten, den Kesselstein. Haben dieselben eine gewisse Dicke erreicht, so müssen sie beseitigt werden, was entweder durch Losschlagen mit Hammer und Meißel, oder aber durch chemische Lösungsmittel geschieht. In neuerer Zeit hat man der Bildung des Kesselsteins dadurch vorgebeugt, daß man dem Wasser solche Substanzen beigemischt hat, durch welche das im Speisewasser Gelöste nicht als eine feste steinige, sondern als eine ganz lockere, leicht zu beseitigende Masse ausgeschieden wird.

Die Dampfkessel werden meist in Oefen, die aus guten, zum Theil aus feuerfesten Backsteinen bestehen, eingemauert. Als Brennmaterial dient am Allgemeinsten die Steinkohle; doch wird in einzelnen Gegenden auch mit Holz oder Torf gefeuert. Je nach dem Brennmaterial ist der Feuerraum und der Rost etwas anders construirt. Zwischen dem Kessel und der Einmauerung sind die nöthigen Züge offen gelassen, durch welche die im Feuerraume gebildeten heißen Gase nach dem Kamine entweichen, indem sie auf diesem Wege den größeren Theil ihrer Wärme an das im Kessel befindliche Wasser abgeben. Manchmal werden die als Produkte der Verbrennung entstandenen Gase nur einmal unter dem Kessel hergeführt, während sie in anderen Fällen mehrmals unter demselben hin und her geleitet werden, ehe

Digitized by Google

sie in den Kamin gelangen. Bei der Anordnung der Züge muß auch hauptsächlich darauf gesehen werden, daß die heißen Gase nur mit den vom Wasser bedeckten Theilen der Kesselwand in Berührung kommen. — Um das Zuströmen der zur Verbrennung erforderlichen Luft zu veranlassen, wird gewöhnlich ein hoher Kamin errichtet, durch welchen die gasförmigen Verbrennungs-Produkte entweichen. Wie ein Kamin im Stande ist, durch den Rost hindurch dem Brennmaterial stets frische Luft zuzuführen, oder mit anderen Worten, den nöthigen Zug hervorzurufen, findet der Leser auf S. 135 dieses Bandes näher erläutert. Die durch den Kamin abziehenden Gase besitzen immer noch eine ziemlich hohe Temperatur, die zwischen 200 bis 400 Grad beträgt; die in diesen Gasen enthaltene Wärme geht für die Dampferzeugung verloren. Es ist dies eine der Hauptursachen, warum auch bei den besteingerichteten Dampfkessel-Feuerungen nur zwei Drittel der Wärmemenge, welche der verzehrte Brennstoff bei vollständiger Verbrennung zu erzeugen vermag, wirklich dampfentwickelnd wirkt. Zum Verlust an dem Effekt des Brennstoffes trägt auch der Umstand bei, daß ein Theil des Brennmaterials unverzehrt, als schwarzer Rauch, durch den Kamin weggeführt wird. Der Rauch besteht nämlich aus nichts Anderem, als aus unverbrannten kleinen Kohlentheilchen, die in der Umgebung des Kamins allmählig niederfallen, und häufig, besonders in Städten, sehr belästigend sind. Aus diesem Grunde ist vor vier Jahren in England eine Parlaments-Akte erlassen worden, welche allen Besitzern von Dampfkesseln in London befiehlt, solche Anordnungen zu treffen, daß aus ihren Kaminen niemals Rauch entweiche. Um dies zu ermöglichen, muß der Rauch im Ofen selbst verbrannt werden; es muß dafür gesorgt werden, daß auch nicht der kleinste Theil des Brennmaterials sich der Verbrennung entziehen kann. Das Nichtrauchen des Kamins gewährt daher außer den anderen Annehmlichkeiten auch immer Vortheile in Bezug auf den Brennstoffverbrauch. In den letzten Jahren sind, hauptsächlich veranlaßt durch jenes englische Gesetz, zahllose Vorschläge zur Einrichtung rauchfreier Feuerungen gemacht worden. Zu den besten jener Vorschläge gehört jedenfalls der, welcher von Dr. Gall ausgegangen und von ihm in mehreren Aufsätzen der allgemeinen Beurtheilung unterbreitet worden ist.

Wasserstandzeiger.

Jeder Dampfkessel muß mit Vorrichtungen versehen sein, durch welche man in jedem Augenblick erfahren kann, wie hoch der Wasserstand im Kessel und wie groß die Dampfspannung in demselben ist, und ferner muß eine Vorrichtung vorhanden sein, welche selbstthätig verhindert, daß die Dampfspannung eine gewisse Größe nicht übersteigen kann. — Für die Sicherheit des Kessels ist es von der größten Wichtigkeit, daß der Wasserstand in demselben nie bedeutend von dem normalen abweiche, daß er namentlich nie zu tief hinabsinke. Die Mehrzahl aller Kesselexplosionen entsteht durch zu niederen Wasserstand im Kessel. Um die Höhe desselben zu beobachten, giebt es hauptsächlich drei Mittel: Schwimmer, Probirhähne und Glasröhren. Ein Schwimmer besteht aus einem auf dem Kesselwasser schwimmenden Körper, an dem ein Draht befestigt ist, welcher durch eine kleine Stopfbüchse hindurch aus dem Kessel heraus geführt wird. Dieser Draht trägt nun entweder direkt einen Zeiger, der auf einer nebenstehenden Scala den Wasserstand im Kessel erkennen läßt, oder er faßt an einen um eine Achse drehbaren Zeiger, der dann die Aenderungen im Wasserstande beliebig vergrößert anzeigt. Die Angaben des Schwimmers werden dadurch leicht etwas unzuverlässig,

Digitized by Google

daß in Folge der demselben von dem siedenden Wasser mitgetheilten Bewegungen ein Klemmen des Drahtes in der Stopfbüchse eintritt. — Die Probirhähne, einfache kleine Hähne, werden gewöhnlich an der vorderen Endfläche des Kessels angebracht, und zwar einer in der normalen Höhe des Wasserspiegels, sowie zwei andere an den Punkten, bis zu denen man ein Sinken oder Steigen des Wasserstandes gestatten will. Hat der letztere genau die richtige Höhe, so muß beim Oeffnen aus dem oberen Hahne nur Dampf, aus dem mittleren Wasser mit Dampf vermischt, und aus dem unteren nur Wasser entweichen. Bei den Probirhähnen ist besonders darauf zu sehen, daß dieselben nicht durch Kesselstein verstopft werden. — Das beste und bequemste Mittel zur Erkennung des Wasserstandes ist ein vor dem Dampfkessel angebrachtes Glasrohr von etwa 10 Zoll Länge, dessen oberes Ende mit dem Dampfraum, und dessen unteres Ende mit dem Wasserraum des Kessels in Verbindung steht. Nach dem Gesetz der communicirenden Röhren wird dann die Wassersäule im Glasrohre mit dem Wasser im Kessel stets gleiche Höhe haben. Auch bei dieser Vorrichtung hat man darauf zu achten, daß die Verbindungen der Glasröhre mit dem Kessel sich nicht verstopfen. — An jedem Kessel werden mindestens zwei verschiedene Wasserstandszeiger angebracht, einmal um die Angaben des einen durch die des anderen controlliren zu können, und dann auch, um bei etwaigem Versagen von einem derselben doch nie ohne Kenntniß des Wasserstandes zu sein. Nach den Angaben der Wasserstandszeiger wird das Zupumpen des frischen Speisewassers von dem Maschinenwärter oder dem Heizer geregelt. Um hierbei von dem Gange der Maschine unabhängig zu sein, läßt man in neuerer Zeit das Speisewasser häufig durch eine besondere kleine Dampfpumpe dem Kessel zuführen. Es besteht dieselbe aus einer einfachen Saug- und Druckpumpe, deren Kolbenstange meist die direkte Verlängerung der Kolbenstange einer kleinen Hochdruckmaschine ist.

Manometer.

Zur Erkennung der Dampfspannung im Kessel bedient man sich verschiedener Apparate, die unter dem Namen Manometer zusammengefaßt werden. Die gebräuchlichsten derselben sind das offene und das geschlossene Quecksilbermanometer. Jenes besteht aus einer vertikal stehenden Uförmig gebogenen Röhre, deren einer Schenkel doppelt so lang ist, als der andere. Der längere Schenkel ist oben offen, der kürzere steht mit dem Dampfraume des Kessels in Verbindung. In die Röhre wird nun, während im Kessel nur die gewöhnliche Spannung der Atmosphäre herrscht, Quecksilber eingefüllt, und zwar so lange bis dasselbe ungefähr bis zum oberen Ende des kürzeren Schenkels steht. Wenn die Dampfspannung im Kessel gerade eine Atmosphäre beträgt, steht das Quecksilber in beiden Röhrenschenkeln auf gleicher Höhe. Wächst aber die Dampfspannung, so preßt sie das Quecksilber in dem kürzeren Schenkel hinab, und macht es gleichzeitig in dem anderen empor steigen. Der Abstand der Quecksilber-Spiegel in den beiden Schenkeln bemißt hierbei die Spannung des Dampfes, und zwar entspricht jeder Zoll dieses Abstandes einem Drucke des Dampfes auf den Quadratzoll von nahe 0,48 Pfund. Die so gemessene Spannung ist der Ueberdruck des Dampfes über den Luftdruck. Die Angaben dieses Manometers sind sehr zuverlässig und zwar für die verschiedenen Spannungen in gleichem Maße; dasselbe hat nur den Nachtheil, daß es eine ziemlich bedeutende Menge Quecksilber erfordert, indem z. B. bei einem Manometer, welches noch einen Ueberdruck von 4 Atmosphären anzeigen soll, der längere Schenkel eine Länge von etwa 11 Fuß haben muß.

Digitized by Google

Die Röhre wird gewöhnlich von Schmiedeeisen gemacht; um nun den Stand des Quecksilbers in derselben erkennen zu können, läßt man auf dem Quecksilber im offenen Schenkel ein Stückchen Eisen schwimmen. Ein an demselben befestigter Faden geht oben über eine kleine Rolle und trägt an seinem anderen Ende einen Zeiger, der an einer in bequemer Höhe angebrachten Scala vorübergleitet. — Das geschlossene Quecksilber-Manometer beruht darauf, daß die in einer oben geschlossenen Röhre enthaltene Luft, welche durch Quecksilber abgesperrt ist, durch den Dampfdruck mehr oder weniger zusammengepreßt wird. Ein Ueberdruck des Dampfes von 1, 2, 3 Atmosphären wird die in der Röhre eingeschlossene Luft nach dem Mariotte'schen Gesetz auf $^1/_2$, $^1/_3$, $^1/_4$ ihres anfänglichen Volumens comprimiren. Dieses Manometer hat hauptsächlich den Uebelstand, daß das Steigen des Quecksilbers in der Röhre für einen und denselben Spannungszuwachs um so kleiner wird, je höher die Spannung des Dampfes bereits ist. — Der Umstand, daß sich Quecksilber-Manometer für die Anwendung auf Locomotiven nicht wohl eignen, ist die Veranlassung zur Erfindung zahlreicher anderer Manometer geworden. Bei den Meisten derselben tritt der Dampfdruck nicht, wie bei den eben besprochenen beiden Manometern, ins Gleichgewicht mit dem Gewicht einer Flüssigkeitssäule oder mit der Elasticität eines Gases, sondern mit der Elasticität eines festen Körpers. Der Dampf wirkt hierbei gewöhnlich auf eine dünne Platte von Metall oder von Kautschuk, oder auch wohl auf sehr dünnwandige, spiralförmig oder anders gewundene metallne Röhrchen. Die Formänderung, welche diese Körper durch den Dampfdruck erleiden, wird nun auf die eine oder andere Weise auf einen Zeiger übertragen, der auf einem hinter ihm angebrachten Zifferblatte die jedesmalige Dampfspannung sehr bequem erkennen läßt.

Sicherheitsventil.

Damit die Dampfspannung nie eine Größe erreiche, welche für die Festigkeit des Kessels gefährlich ist, werden Sicherheitsventile angebracht, d. h. Ventile, welche durch Gewichte oder Federn gerade so stark belastet sind, daß sie sich öffnen, sobald die Dampfspannung eine Höhe erreicht, welche nicht überschritten werden soll. Soll die Dampfspannung, wenn die Ventile sich einmal geöffnet haben, nicht ferner anwachsen, so muß die Oeffnung, welche sie dem austretenden Dampfe darbieten, so groß sein, daß eben soviel Dampf durch sie entweichen, wie gleichzeitig gebildet werden kann. Sinkt die Spannung im Kessel wieder unter die zur Lüpfung der Ventile erforderliche, so werden diese sich wiederum schließen. Da die Thätigkeit des Sicherheitsventils eine so wichtige ist, so ist besonders darauf zu achten, daß es sich stets in gutem Zustande befindet.

Digitized by Google

Das Dampfschiff.

So weit unsere geschichtliche Kenntniß der früheren Jahrtausende zurückreicht, ist die Schifffahrt stets das wichtigste Mittel des Verkehrs zwischen den verschiedenen Ländern und Völkern gewesen. Die ersten Anfänge der Cultur und der Staatenbildung führen uns immer in größere Flußthäler, an die Ufer des Nils, des Euphrats und des Ganges. An den Ufern dieser großen Ströme treiben Künste und Wissenschaften ihre ersten Blüthen. Während die mächtigen egyptischen Könige Städte bauten, wie Theben und Memphis, deren Ruinen noch die heutige Nachwelt mit Staunen erfüllen, waren die Priester des Landes bemüht, den Schleier zu lüften, der über den Erscheinungen und Gesetzen der Natur noch dicht ausgebreitet lag. Wichtiger aber noch und von größerem Einflusse als die Ströme war das Meer als länderverbindendes Mittel. Ueber das Meer hin schickten Phönicier und Hellenen zahlreiche Colonisten aus, und gründeten blühende Niederlassungen an allen Küsten des Mittelmeeres; ich erinnere nur an Carthago, an Ephesus, Milet und Syracus. Die zahlreichen Inseln des ägäischen, wie des ganzen Mittelmeeres bildeten hierbei gleichsam eine Brücke. Fast alle europäischen Verhältnisse erlitten eine bedeutende Umgestaltung, als im fünfzehnten Jahrhundert die Schifffahrt große Fortschritte machte, als Vasco de Gama den Seeweg nach Ostindien fand, und der kühne Genueſe einen vierten Erdtheil entdeckte. Von dieser Zeit an erhielt die Schifffahrt eine über ihre frühere noch weit hinausgehende Bedeutung. In Folge der großen nautischen Entdeckungen waren manche Orte, für welche die Schifffahrt Verbindungen herzustellen hatte, durch Entfernungen von einander getrennt, gegen welche die früher zurückgelegten Wege nur unbedeutend erscheinen. Man denke nur an die Fahrten der Spanier nach Peru und Mexiko um das Cap Horn, an die Reisen der Holländer nach Java und den ostindischen Inseln. Dabei wuchs auch die Zahl dieser Reisen immer mehr, und mit ihrer Sicherheit und Schnelligkeit waren die wichtigsten Interessen des täglich an Ausdehnung zunehmenden Handels aufs engste verknüpft.

Der Zweck jeder Schifffahrt wird in um so größerem Maße erfüllt werden können, je vollkommner die Mittel sind, deren man sich zur Fortbewegung der Schiffe zu bedienen weiß. Beim Hinunterfahren der Flüsse hat man sich anfänglich wohl ganz der Strömung überlassen, dagegen beim Hinauffahren das gleiche Mittel wie beim Landtransporte angewandt, und sich durch Menschen oder Thiere den Fluß hinauf ziehen lassen. Dies Verfahren ist aber nicht immer anwendbar, da es bedingt, daß das Schiff in der Nähe des Ufers fahren kann, und daß auf diesem für die vorgespannten

Digitized by Google

Thiere ein Weg, ein sogenannter Leinpfad, vorhanden ist. Zwei andere, ebenfalls schon im hohen Alterthum bekannte Mittel zur Fortbewegung der Schiffe sind das Segel und das Ruder. Die Anwendung des Segels gewährt ihrer großen Billigkeit halber bedeutende Vortheile, aber diese werden zum Theil wieder aufgehoben, weil man bei ihr der Unbeständigkeit und allen Launen des Windes vollständig Preis gegeben ist. Auf die Richtung und Stärke des Windes ist kein Einfluß möglich, und der Schiffer muß es nicht nur geduldig ertragen, daß die Segel oft Tage lang schlaff an den Masten herunter hängen und das Schiff nicht von der Stelle kommt, er kann auch Nichts dagegen thun, wenn Stürme ihn weit von seinem eigentlichen Wege verschlagen. Die Kraft des Windes ist zwar umsonst zu haben, aber der Mensch ist nicht Herr über dieselbe. Deßhalb kam auch das in seiner Anwendung zwar viel kostspieligere, aber dem menschlichen Willen gehorchende Ruder schon sehr frühe in Gebrauch. In alten egyptischen Gräbern sind Modelle von Schiffen gefunden worden, an deren Seiten lange, durch Menschen bewegte Ruder angebracht sind. Mehrere solcher Modelle befinden sich in der egyptischen Abtheilung des neuen berliner Museums. Im Alterthume, sowie im Mittelalter wurden besonders zu Kriegszwecken große, mit mehreren Hundert Ruderern bemannte Schiffe gebaut, die sogenannten Galeeren. Aber nicht nur die gewöhnlichen Ruder, sondern auch die Ruder- oder Schaufelräder, wie sie die meisten heutigen Dampfschiffe haben, sind eine sehr alte Erfindung, von der Vitruv bereits sagt, daß der Name des Erfinders zu seiner Zeit nicht mehr bekannt gewesen sei. Der Professor Pancirolle von Padua spricht im Jahre 1587 davon, daß er römische Münzen gesehen habe, auf denen Kriegsschiffe dargestellt seien, die an jeder Seite drei, durch Ochsen in Bewegung gesetzte Ruderräder hätten. Solcher Schiffe sollen sich die Römer während des ersten punischen Krieges bei ihrer Ueberfahrt nach Sicilien bedient haben. In den Jahren 1687—1693 machte ein französischer Mechaniker Duguet in Marseille und Havre Versuche mit einem Boote mit Schaufelrädern. Ein solches besaß zu derselben Zeit der Pfalzgraf Ruprecht in London, wo Papin dasselbe sah; die Schaufelräder wurden durch Pferde in Bewegung gesetzt, und es ließ dasselbe das Boot des Königs weit zurück, obgleich dieses mit sechszehn Ruderern bemannt war.

Sowohl die gewöhnlichen Ruder wie die Ruderräder sind demnach von sehr alter Erfindung; aber lange fehlte es an einer geeigneten Kraft, um dieselben in Bewegung zu setzen, und sich ihre Vortheile in ihrem ganzen Umfange zu Nutze zu machen. Die Kraft des Windes ist hierzu natürlich nicht tauglich, indem sie, wenn sie überhaupt vorhanden ist, besser durch Segel zu Gute gemacht werden kann. Menschen- und Thierkräfte sind außerordentlich kostspielig, und hinsichtlich der Größe auch nur in ziemlich engen Grenzen anwendbar. Die zur Bewegung einer Galeere erforderlichen Ruderer nahmen einen großen Theil des Schiffraumes in Anspruch. Es ist daher leicht begreiflich, daß bei der Erfindung der Dampfmaschine auch gleich schon der Gedanke auftauchte, die neue Triebkraft zur Fortbewegung der Schiffe zu benutzen.

Papin. In dem Aufsatze, den Papin im Jahre 1690 in den Acta eruditorum erscheinen ließ, und in welchem er die Idee zur atmosphärischen Maschine mittheilt, hebt er besonders hervor, daß letztere gebraucht werden könne, um Schiffe gegen den Wind zu bewegen. Nachdem er die Nachtheile aufgezählt hat, welche man bei der Benutzung von Ruderern erleidet, geht er

Digitized by Google

etwas näher auf einen Vorschlag ein, wie man mit seiner Maschine Schaufelräder umtreiben könne. Papin hat aber nicht blos, wie man lange Zeit glaubte, den ersten Vorschlag zur Anwendung der Dampfkraft auf die Schifffahrt gemacht; er hat auch selbst die praktische Verwirklichung seines Vorschlages versucht. Diese interessante Thatsache erhellt auf das deutlichste aus mehreren Briefen, die sich unter den in Hannover aufbewahrten Manuscripten von Leipnitz gefunden haben. Im Jahre 1707 hatte Papin den Bau eines Bootes beendet, welches mit Ruderrädern und einer diese umtreibenden Dampfmaschine versehen war. Er wollte sein Boot, indem er damit zunächst die Fulda und Weser hinabfuhr, nach London bringen, um vor seinen dortigen Freunden Versuche damit anzustellen. Die kleine Stadt Münden, welche an der Stelle liegt, wo die Fulda und Werra sich zur Weser vereinigen, besaß in damaliger Zeit das Stapelrecht, und in Folge dessen durfte kein Schiff aus der Fulda in die Weser einlaufen. Um sich nun für sein Boot eine Erlaubniß hierzu zu verschaffen, schrieb Papin am 7. Juli 1707 an Leipnitz, und bat ihn, ihm durch seinen Einfluß jene Erlaubniß vom churfürstlich Hannöverschen Ministerium zu verschaffen. Dieses war aber hierzu nicht zu bewegen, und nachdem noch einige Briefe zwischen Leipnitz und Papin gewechselt worden waren, erklärte der Letztere am 15. September, daß er der schon sehr vorgerückten Jahreszeit wegen nicht länger auf die erbetene Erlaubniß warten könne, und auch ohne dieselbe in den nächsten Tagen seine Reise antreten werde. Er that dies denn auch am 27. September 1707 und fuhr mit seinem Boote glücklich die Fulda hinunter bis Münden. Hier scheiterten jedoch alle seine Versuche zur Fortsetzung der Fahrt, und der Conflict, in den er dieserhalb mit den dortigen Schiffern gerieth, endete damit, daß dieselben das Dampfboot gänzlich zertrümmerten. Papin kehrte traurig nach Cassel zurück; eine lang genährte, schöne Hoffnung war ihm durch rohe Gewalt plötzlich vernichtet worden, und es war dieser Schlag um so schwerer für ihn, da er keinen neuen Versuch machen konnte, indem schon jener erste alle seine Mittel gänzlich erschöpft hatte. Ob die von ihm benutzte Maschine eine atmosphärische oder ob es die von ihm veränderte Savery'sche Maschine war, läßt sich nicht mit Sicherheit ermitteln; einzelne Umstände machen das Letztere wahrscheinlich.

Nachdem die Newcomen'sche Maschine in England einige Verbreitung gefunden hatte, machte auch schon ein dortiger Mechaniker, Jonathan Hulls, in einer (1737) in London erschienenen Schrift den Vorschlag, jene Maschine zur Construction eines Dampfbootes zu benutzen, um mit demselben Schiffe in und aus den Häfen zu bugsiren. Er wollte zu diesem Zwecke am Hinterende des Schiffes ein großes Schaufelrad anbringen, dessen Drehung die atmosphärische Maschine mittelst eines complicirten Mechanismus bewirken sollte. Hull's Vorschlag fand jedoch keinen Beifall und kam nicht zur Ausführung.

Der berühmte Marschall von Sachsen, der Sohn August's des Starken und der schönen Gräfin Aurora von Königsmark, überreichte im Jahre 1732 der französischen Akademie der Wissenschaften eine Denkschrift über die Construction eines mit Schaufelrädern versehenen Schleppbootes, bei dem die bewegende Kraft durch vier Pferde erzeugt wurde. Dieser Aufsatz wurde mit die Veranlassung, daß die Pariser Akademie im Jahre 1753 eine Preisfrage stellte nach den besten Mitteln, durch welche bei der Schifffahrt die Wirkung des Windes unterstützt werden könne. Den Preis erhielt eine

Digitized by Google

Abhandlung von Daniel Bernouilli, in welcher dieser große Gelehrte unter anderem auch nachwies, daß die damals allein bekannte Dampfmaschine, die Newcomen'sche, ebensowenig wie die Pulvermaschine für die Schifffahrt von Nutzen werden könne. Anderer Ansicht hierüber war ein Mitbewerber um jenen Preis, der Chorherr Gautier in Nancy. Er wollte eine Anzahl gewöhnlicher Ruder durch eine atmosphärische Maschine in Bewegung setzen lassen; der hierzu von ihm vorgeschlagene Mechanismus ist indeß sehr mangelhaft. Gautier's Plan hatte dasselbe Schicksal, wie der von Hulls, was auch durchaus nicht befremden kann, da die Newcomen'sche Maschine für die Aufgabe, welche diese Männer ihr zumutheten, noch viel zu unvollkommen war.

Marquis Jouffroy.

Wenn auch die von der Akademie gestellte Preisfrage keine unmittelbaren Resultate für die Schifffahrt gehabt hatte, so war doch die allgemeine Aufmerksamkeit durch sie auf den von ihr berührten Gegenstand hingelenkt worden. Wohl auch in Folge dieser Anregung hatte ein junger Edelmann aus der Franche-Comté, der Marquis Claude Jouffroy, während zweier Jahre, die er wegen eines Ehrenhandels als Verbannter in der Provence verleben mußte, die Materialien zu einem Werke über Ruder-Galeeren gesammelt. Auch ihm war dabei der Gedanke gekommen, daß zur Bewegung der Ruder die Dampfkraft wohl sehr geeignet sein möchte. Und diesen Gedanken hatte er mit solcher Lebhaftigkeit erfaßt, daß, als er gegen Ende des Jahres 1775 aus seiner Verbannung nach Paris zurückkehrte, er nichts Eiligeres zu thun hatte, als Erkundigungen über die ihm noch ziemlich unbekannte Dampfmaschine einzuziehen. Seitdem zwanzig Jahre vorher Gautier seine bekannten Vorschläge veröffentlicht hatte, hatte die Dampfmaschine einen bedeutenden Schritt vorwärts gethan: die einfach wirkende Maschine war von Watt erfunden worden. Die Nachahmung einer solchen, die Maschine von Chaillot, war von den Brüdern Perrier eben in der Nähe von Paris aufgestellt worden, als Jouffroy dort ankam. Ein genaues Studium dieser Maschine befestigte seine Ansichten von der Ausführbarkeit eines Dampfschiffes. In Paris traf Jouffroy mit zwei seiner Landsleute zusammen, dem Grafen Auxiron und dem Marquis Ducrest; beide waren, wie er selbst, Officiere und zugleich thätige Freunde der strengen Wissenschaften. Bald hatte er sie für seine Pläne interessirt und gewonnen, und es dauerte nicht lange, so wußte ganz Paris um das Vorhaben des jungen Edelmannes aus der Franche-Comté. Auch war er so glücklich, eine Gesellschaft zu vereinigen, welche die nöthigen Versuche auf ihre Kosten wollte ausführen lassen. Der Versammlung, in welcher über den Bau des ersten Bootes berathen wurde, wohnte auch Constantin Perrier bei, der zu jener Zeit einer der ersten Industriellen von Paris war. Dieser setzte dem von Jouffroy ausgegangenen Vorschlag einen anderen entgegen, der besonders darin fehlerhaft war, daß die Kraft der Maschine viel zu geringe angenommen war. Da sich jedoch für diesen Vorschlag eben so viele Stimmen aussprachen, wie für den von Jouffroy, so mußte dieser das Feld seinem Gegner, einer anerkannten Autorität auf dem Gebiete der Mechanik, überlassen. Die unterlegene Partei gab indeß ihre Ansichten nicht auf, und der Graf Auxiron, der um diese Zeit starb, schrieb noch von seinem Todbette an Jouffroy: „Nur Muth, mein Freund, Sie allein haben Recht." Die Befürchtungen, welche das Perrier'sche Project von Anfang an erregt hatte, wurden durch den ersten betreffenden Versuch nur zu sehr bestätigt. Eine einfach wirkende

Digitized by Google

Watt'sche Maschine, deren Cylinder einen Durchmesser von nur 8 Zoll hatte, war kaum im Stande, das kleine Boot die schwache Strömung der Seine überwinden zu machen. In Folge dieses ungünstigen Resultates löste sich die Gesellschaft, auf deren Kosten der Versuch gemacht worden war, wieder auf.

Jouffroy zog sich hierauf wieder in seine Provinz zurück. Trotz der bitteren Erfahrungen, die er gemacht hatte, war er durchaus nicht entmuthigt, sondern voll Vertrauen auf die Tüchtigkeit seines Planes, und fest entschlossen, bei Ausführung desselben nunmehr bloß seinen eigenen Ideen zu folgen. Zur Anstellung weiterer Versuche wählte er sich die kleine Stadt Baumes-Dames aus, die zwischen Besançon und Mömpelgard auf dem rechten Ufer des Doubs liegt. Das Boot, welches er hier machen ließ, hatte eine Länge von 40 und eine Breite von 6 Fuß. Der Treibapparat des Bootes bestand aus zwei Rudern von einer besonderen Einrichtung, welche im Jahre 1759 ein Berner Geistlicher angegeben hatte. An dem äußeren Ende jedes Ruders waren nämlich zwei, achtzehn Zoll ins Wasser tauchende Flügel angebracht, die sich dicht zusammen legten und also nur mit einer geringen Fläche durchs Wasser schnitten, wenn das äußere Ruderende in der Richtung des Schifflaufes bewegt wurde. Bei der entgegengesetzten Bewegung des Ruders aber öffneten sich die beiden Flügel und drückten dann mit ihrer ganzen Fläche gegen das Wasser. Die Wirkung dieser Ruder ist eine ähnliche wie die der Füße bei den Schwimmvögeln; sie bleiben auch fortwährend unter Wasser getaucht. Auf jeder Seite des Bootes befand sich ein solches Ruder; dasselbe ragte 8 Fuß über den Bootsrand hinaus und das äußere Ende beschrieb einen Bogen von drei Fuß Sehne. Die inneren Enden der beiden Ruder waren an einer Kette befestigt, die, nachdem sie über einige feste Rollen geführt war, mit der Kolbenstange einer einfach wirkenden Watt'schen Maschine verbunden war. Während der Kolben im Dampfcylinder leer aufwärts ging, wurden die äußeren Enden der Ruder durch Gegengewichte nach dem vorderen Bootsende gezogen, wobei die Flügel sich zusammenklappten. Ging darauf der Kolben durch den Dampfdruck nieder, so zog er die Ruder mit ausgebreiteten Flügeln dem Lauf des Schiffes entgegen, und bewirkte so ein Vorwärtsgehen desselben.

Es gehörte einiger Muth dazu, sich an einem so abgelegenen Orte mit mechanischen Constructionen zu beschäftigen, wie denn auch die Mittel zu deren Ausführung sehr beschränkte waren. Der Dampfcylinder war z. B. bloß von einem gewöhnlichen Kupferschmied mit dem Hammer aus Kupfer getrieben, und durch umgelegte eiserne Reifen verstärkt. Jouffroy überwandt jedoch glücklich alle diese Schwierigkeiten, und sein Boot fuhr während der Monate Juni und Juli des Jahres 1776 auf dem Doubs auf und ab. Hierbei zeigte sich indeß auch bald ein Uebelstand, welcher von der Einrichtung der Ruder herrührte. Die Flügel sollten sich nämlich bloß in Folge des Widerstandes öffnen, welchen sie bei ihrer Bewegung im Wasser fänden. Dies Oeffnen fand aber häufig nicht statt, wenn das Boot einmal eine gewisse Geschwindigkeit erlangt hatte, besonders beim Hinauffahren des Flusses. Obgleich diesem Uebelstand durch einen einfachen Mechanismus leicht hätte abgeholfen werden können, so wurde er doch die Veranlassung, daß Jouffroy die Ruder ganz verwarf und sich für die Anwendung von Schaufelrädern entschied. Von dem Standpunkte des Marquis aus ist dieser Entschluß nicht ganz zu billigen. Denn ihm stand blos die einfach wirkende Dampfmaschine zur Verfügung, indem die doppelt wirkende erst später er-

Digitized by Google

funden wurde; mit jener Maschine lassen sich aber Ruder, die ebenfalls nur eine periodisch unterbrochene Wirkung äußern, weit einfacher und natürlicher in Bewegung setzen, als Schaufelräder, deren continuirliche Wirkung auch eine stetige Kraft erfordert.

Nach längeren Vorbereitungen begann Jouffroy im Jahre 1780 in Lyon den Bau eines größeren Dampfschiffes von 145 Fuß Länge und 16 Fuß Breite. Das Schiff hatte einen Tiefgang von 3 Fuß, die Ruderräder einen Durchmesser von 14 Fuß, und Schaufeln von 6 Fuß Breite, welche 2 Fuß tief in das Wasser eintauchten. Die Dampfmaschine war ebenfalls in Lyon gemacht, und hatte zwei neben einander stehende, einfach wirkende Cylinder. Die Bewegung der Kolben übertrug Jouffroy nach dem Vorschlage von Papin mittelst Zahnstangen auf die Welle, auf welcher die Ruderräder saßen. Im Sommer des Jahres 1783 machte der Marquis mit seinem Schiffe die ersten Probefahrten, welche sehr befriedigend ausfielen. Zu einem Hauptversuche am 15. Juli 1783 lud er die Mitglieder der Akademie von Lyon ein, und fuhr dann in Gegenwart von wenigstens zehn Tausend Zuschauern, die das ganze Ufer bedeckten, die Saone hinauf. Zur Beglaubigung dieser Fahrt wurde darüber von den Notaren Devilliers und Barond ein förmlicher Akt aufgenommen.

Jouffroy bemühte sich nun, auf dem Doubs einen regelmäßigen Verkehr mittelst Dampfschiffen einzurichten. Man sollte glauben, daß ihm die Erreichung dieses Zieles nach jenem glänzenden Erfolge hätte leicht werden müssen. Dem war aber nicht so; kleinlichem Neide gelang es, seine Erfindung anzuzweifeln und hierdurch seine Wirksamkeit zu lähmen. Das Schiff, womit Jouffroy seine Versuche gemacht hatte, war zu schwach gebaut, und hatte in Folge dessen schon zu viel gelitten, um es zu täglichen Fahrten benutzen zu können. Es mußte daher zunächst ein neues Boot gebaut werden; ehe aber die von Jouffroy gebildete Gesellschaft dies unternehmen wollte, verlangte sie im Besitze eines sie schützenden dreißigjährigen Privilegiums zu sein. Ein solches konnte nur der König bewilligen, und der Erfinder wandte sich daher mit seinem Gesuche an den damaligen Finanzminister, den Herrn von Calonne. Dieser hielt es für nothwendig, zuerst in Betreff der Neuheit der Erfindung ein Gutachten der französischen Akademie einzuholen. Die Akademie begnügte sich aber nicht damit, einfach dem Wunsche des Ministers zu genügen, sondern sie maßte sich auch an, den Werth der Jouffroy'schen Erfindung zu beurtheilen. Und zwar beauftragte sie Borda und Perrier mit einer Untersuchung des in Lyon befindlichen Dampfschiffes. So war denn Perrier aus einem Nebenbuhler ein beurtheilender Richter geworden. Unter solchen Verhältnissen kann es nicht überraschen, daß die Akademie bei dem Minister beantragte, Jouffroy solle, bevor ihm ein Privilegium bewilligt werde, seine Versuche vor den Abgeordneten der Akademie mit einem Schiffe von 300 Tonnen auf der Seine wiederholen. Herr von Calonne machte dies Verlangen der Akademie zu seinem eigenen und theilte dies dem Marquis in einem Briefe vom 31. Januar 1784 mit. Jouffroy sah nun wohl, daß er alle Hoffnung aufgeben müsse, da er zur Anstellung des geforderten neuen Versuches keine Mittel mehr besaß. Zu allem Bitteren, was er bereits erfahren hatte, gesellte sich auch noch der Spott des Hofes und seiner Standesgenossen, die es in thörigtem Dünkel eines Edelmannes unwürdig hielten, sich mit großen und nützlichen Erfindungen zu beschäftigen. Die Revolution, unter deren Sturm bald darauf in Frankreich alles Alte

Digitized by Google

zusammenbrach, setzte auch den Bestrebungen Jouffroy's ein Ziel. Als treuer Anhänger des Königthums kehrte er schon im Jahre 1790 seinem Vaterlande den Rücken. Während einer fünfundzwanzigjährigen freiwilligen Verbannung war es sein einziges Bestreben, das Lilienbanner in seiner Heimath wieder zur Herrschaft zu bringen.

Es war ein eigenthümliches Geschick, daß die Arbeiten Jouffroy's gerade dann unterbrochen wurden, als Watt kurz vorher die doppelt wirkende Maschine erfunden hatte, durch deren Anwendung der Marquis sein Ziel wohl vollständig erreicht haben würde. So aber kam es, daß der Ruhm der Erfindung der Dampfschifffahrt Frankreich nicht zu Theil wurde. Nicht besser ging es hierin seinem großen Nebenbuhler England. Die Aufgabe, die Frankreich nicht zur Lösung gebracht hatte, wurde von seinen siegreichen Bundesgenossen, den Nordamerikanern, mit frischem Muthe wieder aufgenommen, und nach vielen und langjährigen Mühen auch glücklich zu Ende geführt. Nach achtjährigem Kriege hatten sich die amerikanischen Provinzen ihre Freiheit von England errungen, und der Friedensschluß vom 5. September 1783 führte sie in die Reihe der selbstständigen Staaten ein. Das Gebiet der jungen Republik war damals noch sehr dünn bevölkert und nur schwach angebaut. Dabei lagen die einzelnen Niederlassungen sehr zerstreut, und waren nur sehr mangelhaft durch Straßen unter einander verbunden. Wohl aber ist das Land von zahlreichen schiffbaren Flüssen und Strömen durchschnitten, die für den inneren Verkehr von der größten Wichtigkeit sind. Mit den älteren Mitteln der Schifffahrt war aber auf diesen Flüssen nicht viel auszurichten. Die Ufer der meisten waren mit so dichtem Walde bedeckt, daß der Wind nur selten zum Segeln gebraucht werden konnte; ein Leinpfad war fast nirgend vorhanden, und die an vielen Stellen vorkommenden starken Strömungen waren mit Hülfe des gewöhnlichen Ruders kaum zu überwinden. Hätte Europa auch noch länger des Dampfschiffes entbehren können, Amerika mußte dasselbe erfinden, wenn das Land diejenigen Fortschritte machen sollte, wozu es durch seine reichen Hülfsmittel so sehr befähigt war.

Fitch. Die doppeltwirkende Dampfmaschine war in England kaum erfunden, als auch schon im Jahre 1784 zwei amerikanische Construkteure dem Präsidenten Washington Vorschläge einreichten, wie jene Maschine für die Schifffahrt verwandt werden könne. Der eine derselben, Fitch, wandte einfache, vertikal gestellte Ruder an. Die Dampfmaschine, welche dieselben bewegte, war aber zu schwach und vermochte dem Boote nur eine geringe Geschwindigkeit zu ertheilen. Im Jahre 1787 baute er zwar ein größeres Boot, welches auch einige Fahrten auf dem Delaware machte; aber häufige Reparaturen an dem Mechanismus, und besonders der Umstand, daß die Theilnehmer keinen Erfolg des Unternehmens voraussahen, wurden die Veranlassung zum Aufgeben desselben. Fitch wandte sich (1791) nach Frankreich, wo er in Verbindung mit dem amerikanischen Consul in Lorient trat, um hier seine Pläne zur Ausführung zu bringen. Die Regierung schien anfänglich geneigt zu sein, ihn hierbei zu unterstützen, aber das aus den Fugen gehende Staatsschiff lenkte ihre Aufmerksamkeit bald auf andere Dinge hin.

Rumsey. Der zweite Vorschlag, welcher Washington vorgelegt wurde, ging von Rumsey aus. Dieser wollte die Fortbewegung des Schiffes dadurch bewirken, daß er durch eine Pumpe am vorderen Ende des Schiffes Wasser aufsaugen, und dasselbe am hinteren Ende wieder herauspressen ließ. Auf

Digitized by Google

dieses Mittel hatte bereits Daniel Bernouilli aufmerksam gemacht, und Franklin rieth Rumsey an, einen Versuch damit zu machen. Die Bewegung der Pumpe geschah durch eine Dampfmaschine. In neuester Zeit hat der Herr Schiffbaumeister Seidel in Stettin bei einem Boote einen Versuch mit einem ähnlichen, auf das Hinaustreiben von Wasser gegründeten Treibapparat gemacht, dessen Erfolg ziemlich befriedigend war. Rumsey, der nur eine sehr langsame Bewegung seines Schiffes erzielte, ließ seinen ersten Plan bald fallen, um den sonderbaren Versuch zu machen, ein Boot durch lange Stangen, die sich gegen das Flußbette anstemmten, gleichsam fortzuschieben. Die Stangen selbst wurden durch Kurbeln bewegt, die auf der Schwungradwelle der Dampfmaschine befestigt waren. Da Rumsey in Amerika nicht die erwartete Aufmunterung und Theilnahme fand, ging er im Jahre 1789 nach London. Hier wurde ihm und seinem Projekte eine günstige Aufnahme, sowie auch die nöthige Unterstützung zu Theil; er baute einige Boote, welche dann auf der Themse versucht wurden. Die Erfolge waren aber nicht sehr befriedigend, und der Tod ereilte Rumsey, ehe es ihm gelungen war, das Problem einer Dampfschifffahrt zu lösen.

Fulton.

Mehr als durch seine eigenen Versuche trug Rumsey zur Erfindung des Dampfschiffes dadurch bei, daß er auf diese große Aufgabe die Aufmerksamkeit seines Landsmannes Robert Fulton hinlenkte, dem es anderthalb Jahrzehnte später gelang, die Dampfschifffahrt wirklich ins Leben zu rufen. Fulton wurde im Jahre 1765 in Little-Britain im Staate Pensylvanien geboren. Seine Eltern waren arme irländische Auswanderer. Durch den frühen Tod seines Vaters lernte er in einer Dorfschule nur nothwendig lesen und schreiben, und wurde, noch sehr jung, zu einem Goldschmied in Philadelphia in die Lehre geschickt. Neben dieser Beschäftigung versäumte er es aber auch nicht, seine bedeutenden Anlagen für Zeichnen, Malen und für praktische Mechanik mit Eifer auszubilden. Schon ehe er siebzehn Jahre alt war, verschaffte sein Pinsel ihm manche Einnahme. Er zog von Wirthshaus zu Wirthshaus, um seine Bilder zu verkaufen und Portraits zu malen, bis er sich schließlich in Philadelphia als Maler niederließ. Nachdem er sich in dieser Stellung eine kleine Summe erworben hatte, verwandte er dieselbe dazu, seiner Mutter in der Grafschaft Washington eine Farm zu kaufen. Auf der Rückreise nach Philadelphia lernte er einige Männer von Bedeutung kennen, unter anderen auch einen Herrn Scorbitt. Dieser war überrascht von dem Talente, welches Fulton für die Malerei besaß, und rieth ihm nach London zu gehen, wo ihr Landsmann Benjamin West sich als Maler eines bedeutenden Rufes erfreute, und gewiß gerne bereit sein würde, seinen jungen Genossen mit Rath und That zu unterstützen. Die gleiche Ansicht hatte Franklin schon früher gegen Fulton geäußert, und dieser trat denn auch (1786) von New-York aus die Reise nach London an, wozu ihm Herr Scorbitt die nöthigen Mittel verschafft hatte.

Bei West fand Fulton die freundlichste Aufnahme; da er aber bald daran verzweifelte, es in seiner Kunst bis zu wahrer Meisterschaft zu bringen, so warf er den Pinsel weg und folgte ganz seiner Neigung zur Mechanik. Nach einem kürzeren Aufenthalte in Exeter verlebte Fulton zwei Jahre in Birmingham, um sich in diesem Mittelpunkte der Industrie mit gewerblichen Verhältnissen genau bekannt zu machen. Im Jahre 1789 kehrte er mit der Absicht, von seinen erworbenen Kenntnissen Nutzen zu ziehen, wieder nach London zurück. Hier war es, wo er zufällig mit Rumsey zusammentraf.

Digitized by Google

Diesem wurde es nicht schwer, seinen Landsmann von der großen Wichtigkeit der Dampfschifffahrt für ihr gemeinsames Vaterland zu überzeugen. Fulton ging nun gleich daran, die Fehler in der von Rumsey getroffenen mechanischen Anordnung zu beseitigen, indem er ihn zugleich für die Anwendung von Schaufelrädern zu gewinnen suchte, welche er damals für den geeignetsten Treibapparat für Dampfschiffe hielt. Ihre gemeinschaftlichen Pläne waren noch nicht zur Ausführung gekommen, als Rumsey's Tod denselben ein Ziel setzte. Der Graf von Stanhope, ein leidenschaftlicher Freund der praktischen Mechanik, beschäftigte sich um diese Zeit ebenfalls mit einigen Versuchen in Betreff der Dampfschifffahrt. Er hatte ein Boot bauen lassen, welches mit einer ziemlich starken Dampfmaschine versehen war. Als Treibapparat waren ähnlich construirte Ruder angebracht, wie die, deren sich der Marquis Jouffroy bei seinem ersten Versuche bediente. Fulton, der hiervon hörte, schrieb an Stanhope und suchte ihn zu veranlassen, statt jener Ruder Schaufelräder zu benutzen; zugleich bot er zur Ausführung dieses Vorschlages dem Lord seine Dienste an. Leider fand sein Rath keinen Anklang; die Verwirklichung der Dampfschifffahrt wurde hierdurch noch für eine Reihe von Jahren hinausgeschoben.

So kam es denn auch, daß Fulton während mehrerer Jahre die Erfindung des Dampfschiffes fast ganz aus den Augen verlor. Doch beschäftigte er sich unausgesetzt mit gewerblichen Verhältnissen, und sein an neuen Erfindungen sehr fruchtbarer Geist versuchte sich an den verschiedensten Gegenständen. Er erfand eine Grabmaschine, eine Maschine zum Sägen und Poliren des Marmors, construirte eine Maschine zum Spinnen von Hanf und Flachs, nnd eine andere zur Fabrikation von Seilen und Schnüren. Besonderen Werth legte er aber auf einen Plan zu einer neuen Art von Kanälen, den er (1794) auch der englischen Regierung mittheilte. Da er aber weder bei dieser, noch bei Privatgesellschaften Theilnahme für sein Projekt fand, so entschloß er sich (1796) nach Paris zu gehen. Hier fanden seine Vorschläge aber noch weniger Gehör, worauf er dieselben gänzlich fallen ließ, und sich einem anderen Gegenstand zuwandte.

Am Ende des vorigen Jahrhunderts besaß England die unbestrittene Oberherrschaft auf allen Meeren, und machte von derselben einen für alle übrigen Nationen sehr fühlbaren und belästigenden Gebrauch. Während der Kriege mit Frankreich durchsuchten englische Kriegsschiffe alle ihnen begegnenden Fahrzeuge nach verbotenen oder dem Feinde gehörenden Waaren, unbekümmert um die Flagge, unter welcher dieselben fahren mochten. Der Handel litt durch diese Belästigungen natürlich sehr, und in Folge derselben hatte besonders Nordamerika, ohne selbst am Kriege betheiligt zu sein, die Nachtheile desselben mit zu erdulden. In Fulton erregte dies den leidenschaftlichen Wunsch, sein Vaterland von dem, seinen kräftigen Aufschwung hemmenden, durch die englische Flotte ausgeübten Druck zu befreien. Er glaubte Mittel ausfindig machen zu können, durch welche es möglich wäre, die brittische Seeherrschaft zu brechen. Und zwar wollte er dies durch die Erfindung von neuen Angriffwaffen erreichen, denen auch das größte Kriegsschiff rettungslos zum Opfer fallen müsse. Die Mittel, die Fulton zu diesem Zwecke ersann, bestanden in einem unterseeischen Boote und in einem eigenthümlichen Geschosse, welches mittelst jenes Bootes unter dem feindlichen Schiffe befestigt werden, und dasselbe nach kurzer Zeit in die Luft sprengen sollte. Als seine Mittel zur Anstellung der nöthigen Versuche erschöpft waren,

Digitized by Google

wandte er sich wegen Unterstützung derselben an das Directorium. Dieses ertheilte ihm aber nach langen Verhandlungen schließlich eine abschlägige Antwort, indem es seine Vorschläge für unpractisch erklärte. Nicht besser erging es ihm, als er sich hierauf mit dem gleichen Gesuche an die Batavische Republik wandte. Seit dem Anfang seines Aufenthaltes in Paris wohnte Fulton bei seinem Landsmann, dem amerikanischen Diplomaten Barlow. Dieser, zugleich ein großer Kunstfreund, wollte in Paris ein Panorama aufstellen, wie es kurz vorher der Maler Robert Barker in Edinburg erfunden hatte. Um sich neue Mittel zu verschaffen, griff Fulton wieder zum Pinsel und übernahm die Ausführung des von Barlow gewünschten Bildes. Kurze Zeit nach Vollendung desselben wurde Napoleon Consul auf Lebenszeit. Auf die erneute Bitte Fulton's bewilligte derselbe einige Geldmittel, und ernannte auch eine aus Volney, Monge und Laplace bestehende Commission zur Prüfung des Projectes eines unterseeischen Angriffs. Fulton baute nun ein größeres unterseeisches Boot und machte mit demselben während des Sommers 1801 Versuche in den Häfen von Havre und Brest. Am 17. August blieb er z. B. mit seinem Boote vier Stunden unter Wasser, und legte während derselben einen Weg von fünf Stunden zurück. Auch gelang es ihm, eine auf der Rhede von Brest vor Anker liegende Schaluppe in die Luft zu sprengen. Sein Bemühen, das gleiche Schicksal einem der englischen Kriegsschiffe zu bereiten, die häufig an der französischen Küste kreuzten, hatte indeß keinen Erfolg. Da Napoleon bedeutendere Resultate erwartet hatte, so erkaltete nach und nach sein Interesse für die Erfindung des Amerikaners, bis er diese zuletzt für unausführbar erklärte und ihr seine fernere Unterstützung versagte.

Als Fulton sah, daß er in Frankreich für die von ihm mit so großem Eifer und so vielen Opfern verfolgten Pläne Nichts mehr zu hoffen habe, beschloß er, wieder in sein Vaterland zurückzukehren. Schon war er mit den Vorbereitungen zur Abreise beschäftigt, als er eine Bekanntschaft machte, die für ihn und für die Erfindung des Dampfschiffes von großer Bedeutung wurde. Er traf nämlich mit dem erst kurze Zeit in Paris befindlichen amerikanischen Gesandten Livingston zusammen. Robert Livingston war fünf und zwanzig Jahre lang Kanzler des Staates New-York gewesen, und jetzt nach Paris gekommen, um im Namen der vereinigten Staaten mit Frankreich einen Vertrag über die Abtretung von Louisiana abzuschließen. In seiner früheren Stellung hatte er sich aber nicht nur mit den Staatsgeschäften befaßt, sondern auch für gewerbliche Unternehmungen stets ein reges Interesse bekundet. So hatte er schon im Jahre 1797 durch zwei Ingenieure Nisbett und Brunel, wovon der letztere später der berühmte Erbauer des Themsetunnels wurde, einige Modelle von Dampfbooten bauen lassen, und mit denselben auf dem Hudson Versuche angestellt; es wurden dabei besonders die verschiedenen, bis zu jener Zeit vorgeschlagenen Treibapparate einer vergleichenden Prüfung unterworfen. Livingston war von der Ausführbarkeit der Dampfschifffahrt so sehr überzeugt, daß er bei der gesetzgebenden Versammlung des Staates New-York mit dem Gesuche einkam, man möge ihm die alleinige Berechtigung verleihen, die Gewässer dieses Staates mit Dampfschiffen zu befahren. Seiner Bitte wurde unter der Bedingung willfahrt, daß er binnen Jahresfrist ein Dampfschiff herstelle, welches in der Stunde $^2/_3$ geograph. Meilen zurücklege. Alle Anstrengungen aber, welche Livingston zur Erfüllung jener Bedingung machte, hatten nicht den gewünschten Erfolg, und das ihm ertheilte Privilegium trat daher auch vorläufig nicht in Kraft.

Digitized by Google

So lagen die Sachen, als er als Gesandter nach Paris ging. Hier traf er, wie schon oben bemerkt wurde, mit Fulton zusammen, und hatte kaum einige Beziehungen mit demselben angeknüpft, als er auch gleich erkannte, welche wesentlichen Dienste dieser bedeutende Ingenieur seinem zwar unterbrochenen, aber darum nicht aufgegebenen Unternehmen leisten könne. Und noch in den letzten Stunden vor seiner schon fest bestimmten Abreise, als Fulton erschien, um sich bei dem Gesandten seines Landes zu verabschieden, beredete ihn Livingston, seine Reise aufzuschieben und gemeinschaftlich mit ihm für die Begründung der Dampfschifffahrt zu wirken. Zu festerer Einigung schlossen darauf Beide einen Vertrag ab, nach welchem Fulton die Ausführung der anzustellenden Versuche übernehmen, und Livingston die dazu nöthigen Geldmittel hergeben sollte.

Als Fulton sich nun von Neuem der Aufgabe zuwandte, die ihn vor zehn Jahren schon einmal in England beschäftigt hatte, drängte sich ihm bald die Ueberzeugung auf, daß bei allen bisherigen Versuchen zur Construktion seines Dampfschiffes zu sehr ein bloß empirisches Tasten vorgewaltet habe. Er ging zunächst daran, die verschiedenen Treibapparate einer genaueren theoretischen Untersuchung zu unterziehen. In Folge derselben gelangte er zu der Ansicht, daß sowohl das von Rumsey angewandte Mittel — Erzeugung des Ausströmens von Wasser am Hinterende des Schiffes — als auch die mit Flügeln oder Klappen versehenen Ruder des Marquis Jouffroy nicht geeignet seien, um einem Schiffe die erforderliche Geschwindigkeit zu ertheilen. Den besten Erfolg versprach Fulton sich dagegen von einer um zwei Rollen geschlungenen Kette ohne Ende, an welcher in angemessenen Entfernungen Schaufeln angebracht sind. Da man von diesen eine beliebige Zahl kann gleichzeitig auf das Wasser wirken lassen, so schien ihm dieser Apparat eine kräftigere Wirkung äußern zu können, als gewöhnliche Schaufelräder. Durch Versuche wünschte er sich hiervon zu überzeugen; allein die Ufer der Seine waren dazu zu geräuschvoll, und er entschloß sich daher, Frau Barlow nach den Bädern von Plombières zu begleiten, um hier, auf dem kleinen Flüßchen Eaugronne, jene Versuche anzustellen. Dieselben fielen nicht sehr befriedigend aus. Als er im October 1802 wieder nach Paris zurückkehrte, fand er in der Sammlung des Conservatoire des arts et métiers das noch heute dort befindliche Modell eines Dampfbootes ausgestellt, welches mit einem ähnlichen Treibapparat versehen war, wie der, mit welchen er in Plombières Versuche gemacht hatte. Dieses Modell rührte von dem Uhrmacher Desblancs in Trévoux an der Saône her, und es war nach demselben ein größeres Boot gebaut und auf der Saône versucht worden. Da aber die hierbei erlangten Resultate sehr unvortheilhaft waren, so entsagte Fulton der Anwendung der mit Schaufeln besetzten endlosen Kette und kehrte definitiv zu den Ruderrädern zurück, zu denen er dem Grafen Stanhope schon im Jahre 1793 dringend gerathen hatte. Aus seinen theoretischen Untersuchungen erkannte Fulton ferner, daß man bisher immer zu schwache Dampfmaschinen angewandt habe, und war nun natürlich bemüht, diesen Fehler bei dem neu zu bauenden Boote zu vermeiden.

Nachdem im Winter von 1802 auf 1803 auf der Seine, bei der Schwaneninsel, noch einige vorbereitende Versuche gemacht worden waren, begann Fulton den Bau des Bootes, durch welches es sich entscheiden sollte, ob er der Mann sei, durch den das große Problem der Dampf-

Digitized by Google

schifffahrt gelöst werden würde. Im Anfange des Jahres 1803 war das Boot vollendet und Alles zu einer Fahrt desselben bereit. Die Sorge um den Ausfall derselben ließ dem Erfinder keine Ruhe mehr zu Theil werden. Schlummerlos hatte er wieder eine Nacht zugebracht, als am Morgen einer seiner Arbeiter mit so verstörten Zügen in sein Zimmer trat, daß sie ihn gleich als einen Unglücksboten ankündigten. In der Nacht war das Schiff mitten durch gebrochen und untergesunken. Der Schiffskörper war für die darin aufgestellte Maschine nicht stark genug gewesen, so daß ein Windstoß, durch welchen das Wasser in heftige Bewegung gerathen war, zum Untergange des Schiffes hingereicht hatte. So sah denn Fulton plötzlich die Arbeit eines ganzen Jahres zerstört, und das so nahe geglaubte Ziel wieder weiter hinaus gerückt. Doch den Muth verlor er darum nicht. Er eilte gleich an den Ort des Unglücks und gönnte sich während vier und zwanzig Stunden weder Ruhe, noch Speise und Trank. Seinen Anstrengungen gelang es denn auch, wenigstens die Maschine zu retten. Es wurde nun ein neues, genügend starkes Schiff gebaut, von 105 Fuß Länge und 12 Fuß Breite, welches Ende Juni fertig war.

Probefahrt auf der Seine.

Der 9. August 1803 wurde als der Tag bestimmt, an welchem das Dampfschiff seine erste Probefahrt machen sollte. Zu dieser hatte Fulton am Tage vorher die Akademie der Wissenschaften eingeladen, welche denn auch Bougainville, Bossut, Carnot und Perrier dazu entsandte. Ueber diesen für die Dampfschifffahrt so wichtigen Versuch veröffentlichte damals ein Augenzeuge in einer technischen Zeitschrift folgenden, leider etwas unvollständigen Bericht.

„Am 21. Thermidor ist eine neue Erfindung erprobt worden, deren vollständiges und glänzendes Gelingen die nützlichsten Folgen für den Handel und die innere Schifffahrt Frankreichs haben wird. Seit zwei oder drei Monaten sah man am Fuße des Kais der Feuermaschine ein Boot von ganz sonderbarem Anschein, denn es war mit zwei großen Rädern versehen, welche, wie bei einem Wagen, auf einer Achse saßen; und hinter diesen Rädern befand sich eine Art von großem Kessel mit einem Rohre, welches für eine kleine Dampfmaschine gehalten wurde, die dazu bestimmt sei, die Räder und das Boot zu bewegen. Uebelwollende hatten vor einigen Wochen das Untersinken dieses Schiffes herbeigeführt. Nachdem aber der Erfinder den Schaden wieder ausgebessert hatte, erhielt er die schmeichelhafteste Anerkennung seiner Bemühungen und seines Talentes. Um 6 Uhr Abends setzte er, bloß von drei Personen unterstützt, sein Boot und zwei andere daran angehängte, in Bewegung, und verschaffte während anderthalb Stunden den Neugierigen das fremde Schauspiel eines Bootes, das wie ein Wagen durch Räder bewegt wurde, welche, besetzt mit Flügeln oder flachen Rudern, durch eine Dampfmaschine umgetrieben wurden. Indem ich es den Kai entlang begleitete, schien mir seine Geschwindigkeit beim Aufwärtsfahren der Seine der eines eiligen Fußgängers gleich zu sein, also etwa 2400 Toisen per Stunde zu betragen; beim Abwärtsfahren war sie bedeutend größer. Das Boot fuhr viermal auf und ab zwischen Bons-Hommes und der Pumpe von Chaillot, es drehte sich mit Leichtigkeit nach rechts und links, ging vor Anker, fuhr wieder ab und an der Nationalschule vorüber. Eines der Schiffchen nahm am Kai mehrere Gelehrte und Abgeordnete des Instituts auf, unter denen sich die Bürger Bossut, Carnot, Prony, Volney u. A. befanden. Ohne Zweifel werden dieselben einen Bericht abfassen, welcher dieser Er-

Digitized by Google

findung die Bedeutung sichert, welche sie verdient, denn die Einführung derselben auf unseren Flüssen, der Seine, der Loire und der Rhone, würde die günstigsten Erfolge für unsere innere Schifffahrt haben. Die Züge von Booten, welche vier Monate gebrauchen, um von Nantes nach Paris zu kommen, würden pünktlich nach zehn bis vierzehn Tagen eintreffen. Diese glänzende Erfindung rührt von Herrn Fulton her, einem berühmten amerikanischen Ingenieur."

Bei der großen Menge erregte dieser Versuch trotzdem nur ein vorübergehendes Interesse. Ganz Frankreich war damals berauscht von den Siegen, die seine Heere allenthalben erfochten, und vor den Erfolgen derselben mußten neue Erfindungen, und wenn sie selbst die wichtigsten waren, in den Hintergrund treten.

Fulton und Livingston, die seit jenem gelungenen Versuche von der Ausführbarkeit ihrer Pläne fest überzeugt waren, gingen nunmehr daran, die Vortheile der neuen Erfindung ihrem Vaterlande zuzuwenden. Livingston berichtete die in Paris erzielten Resultate der gesetzgebenden Versammlung des Staates New-York, worauf diese das ihm früher ertheilte Privilegium gemeinschaftlich für ihn und Fulton auf zwanzig Jahre, vom Jahre 1803 anfangend, verlängerte. Diese Begünstigung wurde jedoch an die Bedingung geknüpft, daß die Betreffenden binnen zwei Jahren ein Dampfschiff herstellten, welches bei gewöhnlichem Wasserstande den Hudson mit einer Geschwindigkeit von $^6/_7$ geograph. Meilen hinauffahren könne. Sobald Livingston das nachgesuchte Patent erhalten hatte, bestellte er für das in Amerika zu bauende Dampfboot bei Watt und Boulton eine Dampfmaschine, für welche Fulton die Hauptabmessungen angab. Zugleich ging dieser selbst nach England hinüber, einmal um die Ausführung der Dampfmaschine zu überwachen, und dann auch, um mit der englischen Regierung über seine unterseeischen Angriffwaffen zu unterhandeln. Diesen Lieblingsplan verfolgte Fulton noch immer, ohne indessen jetzt mehr Glück damit zu machen, als früher. Livingston war unterdessen wieder nach Amerika zurückgekehrt, und trieb von hier aus Fulton an, seine Abreise von England zu beschleunigen. Diese erfolgte denn auch im Oktober 1806, und am 13. December landete Fulton in Neu-York. Fast gleichzeitig traf hier die in England bestellte Dampfmaschine ein.

Bau des Clermont.

Gleich nach seiner Ankunft begann Fulton auf den Werften von Carl Brown den Bau des neuen Schiffes, welches, nach einem Landsitze von Livingston, der Clermont genannt wurde. Während der Herstellung desselben hatte Fulton Vieles zu leiden von dem Mißtrauen seiner Landsleute gegen sein Unternehmen, ja selbst von lautem Spotte über dasselbe. Als die Herstellungskosten die anfänglich vorgesehene Summe bedeutend überstiegen, wollten die Unternehmer gegen eine entsprechende Betheiligung an denselben ein Drittel ihrer Rechte abtreten; es fand sich aber Niemand, der auf diesen Vorschlag eingehen mochte. Im August 1807 war der Clermont vollendet, und verließ am 10. die Werfte, um am folgenden Tage seine Probefahrt zu machen. Ueber dieselbe sagt Colden, der Freund und Biograph Fulton's, folgendes: „Nichts kann das Erstaunen und die Bewunderung aller derjenigen übertreffen, welche Zeugen dieses Versuches waren. Selbst die Ungläubigsten änderten in wenigen Minuten ihre Ansicht, und waren gänzlich bekehrt, ehe das Boot noch eine viertel Meile zurück gelegt hatte. Die Züge derjenigen, welche bei dem Anblicke dieses kostspieligen Fahrzeuges dem Himmel gedankt hatten, daß sie klug genug gewesen seien, ihr Geld nicht zur Verfolgung eines so

Digitized by Google

thörigten Projectes hergegeben zu haben, veränderten sich in demselben Maße, als der Clermont sich vom Kai entfernte und seinen Lauf beschleunigte; ein beifälliges Lächeln wurde unmerklich durch einen lebhaften Ausdruck des Erstaunens verdrängt. Einige Menschen ohne alle Erziehung und ohne jedes Schicklichkeitsgefühl, die noch versuchten, einige plumpe Späße laut werden zu lassen, verfielen schließlich in stumme Kleinmüthigkeit, und der Triumph des Genies entlockte der Menge übermäßige Freudenrufe und Beifallsbezeugungen."

Erste regelmäßige Dampfschifffahrt.

Nachdem an dem Schiffe noch einige Veränderungen vorgenommen waren, kündigten Livingston und Fulton an, daß ihr Dampfboot einen regelmäßigen Dienst zwischen New-York und Albany versehen, und am nächsten Tage nach letzterem Orte abgehen werde. Dieses Unternehmen erschien aber dem Publikum, trotz der kurz vorher vor aller Augen so glänzend ausgefallenen Probefahrt, so waghalsig und fand so wenig Vertrauen, daß sich zu der ersten Fahrt des Clermont auch nicht ein einziger Passagier einfand. Nichtsdestoweniger ging derselbe an dem bestimmten Tage, einem Montage, um ein Uhr Mittags, den Hudson hinauf, nach Albany ab. Nach einer ununterbrochenen Fahrt von vier und zwanzig Stunden langte das Boot an dem am Flusse liegenden Landsitze Clermont des Kanzlers Livingston an. Von hier am Mittwoch Morgen um neun Uhr wieder abfahrend, erreichte es Albany um fünf Uhr Nachmittags; die ganze Fahrzeit betrug also 32 Stunden. Und da Albany von New-York etwa 32 Meilen entfernt ist, so hatte das Dampfschiff stromaufwärts in der Stunde eine Meile zurückgelegt, wodurch denn die bei Verleihung des Privilegiums gestellte Bedingung erfüllt war. Bei der Rückfahrt des Clermont wagte es ein Einwohner von New-York, mit demselben nach Hause zurück zu kehren.

Bei seinen ersten Fahrten verbreitete der Clermont, besonders während der Nacht, unter den Schiffern auf dem Hudson Furcht und Schrecken. Der Kessel wurde mit Tannenzweigen vom Ufer des Flusses geheizt, welche bei ihrer Verbrennung eine ungeheure Rauchwolke erzeugten, und zugleich veranlaßten, daß häufig eine mehrere Fuß hohe Flamme aus dem Kamine herausschlug. Daß dieses, verbunden mit dem Getöse der Maschine und dem Schlagen der Schaufelräder auf das Wasser, das Dampfschiff den ihm in stiller Nacht begegnenden Schiffern zu einer unheimlichen und sie ängstigenden Erscheinung machte, ist leicht begreiflich. Aber auch dann, als diese Eindrücke durch eine genauere Bekanntschaft mit dem neuen Fahrzeuge verbannt waren, hatte die Einrichtung eines regelmäßigen Dampfschiffdienstes auf dem Hudson noch mit manchen Schwierigkeiten zu kämpfen. Die Besitzer der Segelschiffe glaubten sich durch die neue Erfindung in ihrem Erwerbe bedroht, und suchten daher den Dampfschiffen alle möglichen Hindernisse zu bereiten; so versuchten sie z. B. auf diese zuzusegeln und sie in den Grund zu bohren. Die Regierung mußte endlich einschreiten und diesem Treiben durch Androhung strenger Strafen ein Ende machen. Trotz dieser Behinderungen nahm das Unternehmen von Livingston und Fulton bald einen erfreulichen Aufschwung. Am 11. Februar 1809 erhielt Fulton ein seine Erfindung schützendes Patent für den ganzen Umfang der vereinigten Staaten. Während des Jahres 1811 baute er vier prächtige Boote, wovon das größte, ein Schiff von 526 Tonnen, den Namen Kanzler Livingston erhielt, und für den Dienst zwischen New-York und Albany bestimmt war. Zugleich baute er mehrere Boote für verschiedene Gesellschaften, denen er für einzelne Flüsse seine Rechte zur Betreibung der Dampfschifffahrt abgetreten hatte.

Digitized by Google

Tod Fultons.

Auch Fulton hatte mit ähnlichen Unannehmlichkeiten zu kämpfen, wie Watt, indem auch er viele Eingriffe in die ihm ausschließlich bewilligten Rechte abzuwehren hatte. Als er eines Tages von Trenton, der Hauptstadt des Staates New-Jersey, wohin ihn ein solcher Rechtshandel geführt hatte, zurückkam, wurde er plötzlich von einer heftigen Kälte überrascht, wobei sein Boot zwischen dem den Fluß bedeckenden Eise stecken blieb, so daß er sich mehrere Stunden lang allen Einflüssen dieser rauhen Jahreszeit aussetzen mußte. Zugleich mußte er ungeheure Anstrengungen machen, um seinen Freund, den Advokaten Emmet, der das Unglück hatte, durch das Eis durchzubrechen, dem Tode zu entreißen. Durch alles dieses fiel er in ein heftiges Fieber, dem jedoch die Kunst der Aerzte noch einmal Meister wurde. Als sich Fulton aber, kaum genesen, einen ganzen Tag über im Freien aufhielt, um den Bau eines Schiffes zu beaufsichtigen, zog er sich einen Rückfall zu, dem er am 24. Februar 1815, erst fünfzig Jahre alt, erlag.

Der frühe Tod des großen Ingenieurs erregte in den ganzen Vereinigten Staaten die allgemeinste Trauer. Die Zeitungen, welche die Nachricht desselben brachten, erschienen mit schwarzem Rande. Die gesetzgebende Versammlung des Staates New-York, die gerade in Albany versammelt war, legte zu Ehren Fulton's auf dreißig Tage Trauer an. Seinem Sarge folgten sämmtliche Behörden von New-York, und während des Vorüberziehens des Leichenzuges löste die erste, eben fertig gewordene Dampffregatte ihre Kanonen. Und alle diese Beweise von Achtung und Anerkennung wurden Fulton nur wegen seiner Talente und seiner Verdienste zu Theil; ein öffentliches Amt hatte er niemals bekleidet. Ein einfacher Bürger war er nur bemüht, durch seine Arbeiten das Aufblühen seines Vaterlandes zu fördern, dem er eines der mächtigsten Verkehrsmittel schuf. Die Erwartungen, welche Livingston und Fulton von der Dampfschifffahrt gehegt hatten, gingen in reichstem Maße in Erfüllung, und hätte der Letztere das gleiche Alter erreicht, welches Watt beschieden war, so wäre er noch Zeuge geworden von den mächtigen Wirkungen, welche seine Erfindung auf die Schifffahrt bei allen Culturvölkern ausgeübt hat.

Dampfschifffahrt in Frankreich.

In demselben Jahre, in welchem Fulton starb, kehrte mit den Bourbonen auch der Marquis Jouffroy wieder nach Frankreich zurück. Während der Zeit, in welcher die politischen Verhältnisse ihn von seinem Vaterlande entfernt gehalten hatten, war in Amerika das ins Leben gerufen worden, an dessen Verwirklichung er dreißig Jahre früher wegen äußerer Hindernisse gescheitert war. Die bunten und wechselnden Erlebnisse so vieler Jahre hatten indessen dem Marquis seine alten Pläne und Bestrebungen nicht vergessen lassen, und noch konnte und wollte er der Erste sein, der die Dampfschifffahrt, an deren Erfindung ihm ein ehrenvoller Antheil gebührt, in Frankreich einführte. Durch die Gunst, in welcher er beim Hofe wegen der treuen Anhänglichkeit an dessen Sache stand, wurde es ihm leicht, sich das ausschließliche Privilegium zur Einführung der Dampfschifffahrt zu verschaffen. Eine Gesellschaft bildete sich zur Ausbeutung desselben, und das erste von ihr gebaute Dampfschiff wurde am 20. August 1816 von Stapel gelassen. Es erhielt nach dem Grafen von Artois, der das neue Unternehmen unter seine besondere Protection genommen hatte, den Namen Carl Philipp. Jouffroy sollte aber dieses ersten Erfolges gar nicht froh werden. Sein Patent wurde angefochten, und er konnte die Bildung der Gesellschaft Pajol nicht verhindern, welche als Nebenbuhlerin der seinigen entgegentrat. Zu einem

Digitized by Google

Wettstreite waren aber beide Gesellschaften noch zu schwach, und derselbe endete sehr bald mit der Auflösung von beiden. Der Marquis mußte zum zweiten Male, und diesmal für immer, der Ausführung seines Planes entsagen. Seine Mittel schmolzen zuletzt so zusammen, daß er nach der Julirevolution seine Aufnahme in das Invalidenhaus nachsuchen mußte. Hier starb er im Jahre 1832 an der Cholera, in einem Alter von achtzig Jahren. Jouffroy hat in mancher Hinsicht Aehnlichkeit mit seinem Landsmann Papin, und wie die Schicksale von diesem, erregen auch die seinigen ein wehmüthiges Mitgefühl. Beide hatten die Keime zu großen Erfindungen in ihrer Hand, und beide mußten die Entwickelung derselben zu fruchttragenden Bäumen Anderen überlassen.

In England.

Kaum 25 Jahre waren verflossen, seit der Clermont seine erste Reise von New-York nach Albany glücklich zurückgelegt hatte, als die Erfindung Fultons auch bereits nach England verpflanzt wurde. Im Jahre 1812 baute Henry Bell ein kleines Dampfboot auf dem Clyde, und drei Jahre später ein größeres, den Rob Roy, von 90 Tonnen. Noch in demselben Jahre wurden auf dem Clyde mehrere Dampfschiffe von Stapel gelassen, welche für verschiedene Gegenden Englands bestimmt waren. Von jener Zeit an bis zu der heutigen hinab sind wohl nirgendwo in England so viele Dampfboote gebaut worden, wie auf den Werften am Clyde. — Im Jahre 1817 wurde in Europa der erste Versuch gemacht, auch das Meer mit Dampfschiffen zu befahren, und zwar durch Einrichtung eines Dienstes zwischen Dublin und Holyhead. Nachdem das Dampfschiff sich auch zu diesem Zwecke als sehr geeignet bewährt hatte, verbreitete es sich in wenigen Jahren über die Nord- und Ostsee, über das Mittelländische und das schwarze Meer. Anfänglich waren es hauptsächlich englische Gesellschaften, welche den Dampfschiffs-Verkehr zwischen den verschiedenen europäischen Seehäfen vermittelten. Die rasche Zunahme dieses Verkehrs wird recht ersichtlich aus der Angabe, daß im Jahre 1829 bereits 331 Dampfschiffe in England vorhanden waren.

In Deutschland.

In Deutschland war der Rhein der erste Strom, der mit Dampfschiffen befahren wurde. Anfänglich gelangte man mit denselben in einem Tage nur von Köln bis Koblenz, und erst im Anfang der vierziger Jahre wurde es durch die Anwendung von größeren Schiffen und stärkeren Maschinen möglich, von Köln aus noch an demselben Tage Mainz zu erreichen. Mehrere hunderttausend Reisende fahren jetzt alljährlich den Rhein hinauf und hinab, und doch mögen nur wenige von ihnen dabei der Männer gedenken, deren Genie und unermüdliche Ausdauer es möglich gemacht haben, daß das durch Dampfkraft getriebene Boot am Morgen die Brücke von Mainz passiren, und schon am Mittage sich im Angesichte des Domes von Köln vor Anker legen kann, nachdem es in raschem Lauf die zahlreichen Städte und Dörfer, wie die Burgen und Rebenhügel des schönen Rheinthales begrüßt hat.

Dampfschifffahrt nach Amerika.

Das Dampfschiff war bereits seit dreißig Jahren erfunden und auch schon zu zahlreichen kleineren Seereisen benutzt worden, ehe man an die Lösung des großen Problemes ging, mittelst des Dampfschiffes Seereisen von größerer Ausdehnung zu unternehmen. Besonders war es die Fahrt zwischen Europa und Amerika, welche lange Zeit als eine für das Dampfboot unlösbare Aufgabe betrachtet wurde. Zwar war schon im Jahre 1819 ein amerikanisches Dampfschiff nach England gekommen, aber es hatte dabei abwechselnd von seiner Maschine und von Segeln Gebrauch gemacht, und doch sechs Tage länger als die gewöhnlichen Segelschiffe zu seiner Reise

Digitized by Google

nöthig gehabt. Im Jahre 1825 machte ein englisches Dampfschiff die Fahrt von Falmouth nach Calcutta, wobei es jedoch mehrere Mal anlegte, um neues Brennmaterial einzunehmen, und sich auch häufig seiner Segel bediente. Diese beiden Reisen lieferten daher noch nicht den Beweis, daß es möglich sei, den Anforderungen zu genügen, welche an die Ueberfahrt nach Amerika gestellt wurden. Diese sollte ausschließlich durch die Dampfkraft zurück gelegt, und kein zwischen den Endpunkten liegender Hafen angelaufen werden. Hierzu mußte bei der Abfahrt so viel Brennmaterial mitgenommen werden, wie die Maschine bei ununterbrochenem Gange während der ganzen Reise verbrauchte. An diesem Umstand schien das Unternehmen zu scheitern. Und als man im Jahre 1836 die Dampfschifffahrt nach Amerika in England zuerst einer ernstlichen Discussion unterwarf, wurde ihr stets mit der Behauptung entgegen getreten, daß es ganz unmöglich sei, ein Dampfschiff zu bauen, dessen Tragkraft auch nur für die zu einer Reise von fünfhundert Meilen erforderlichen Kohlen ausreiche, daß also an ein Mitnehmen von anderen Gütern und von Personen gar nicht zu denken sei. Ein Professor aus London glaubte diese Behauptung sogar auf mathematischem Wege beweisen zu können, und legte seine betreffenden Ansichten dem Publikum in einem besonderen Werke vor. Ja, er reiste nach Bristol, um hier in öffentlichem Vortrage die Unmöglichkeit einer Dampfschifffahrt nach Amerika darzuthun. In Bristol ließ nämlich eine Gesellschaft, unbekümmert um die Unmöglichkeits-Beweise des gelehrten Herrn, ein mächtiges Dampfboot, den Great-Western, bauen, mit dem der Versuch gemacht werden sollte, ob die Dampfkraft im Stande sei, allein ein Schiff über den Atlantischen Ocean hinüber zu führen. Der Great-Western war ein Schiff von 1340 Tonnen, einer Länge von 240 Fuß, und mit Maschinen von 450 Pferdekräften versehen. Ende März 1838 war die Ausrüstung des Bootes beendet, und an den Mauern desselben Saales, in welchem kurze Zeit vorher die Unmöglichkeit bewiesen wurde, mit einem Dampfschiffe nach Amerika zu fahren, las man jetzt folgende Anzeige: „Der Great-Western, commandirt von Lieutenant Hosken, wird den 4. April von Bristol nach New-York in See gehen." Auf diese Anzeige hin beschloß eine andere Gesellschaft, gleichzeitig ein zweites Dampfschiff nach New-York abgehen zu lassen, und zwar den Sirius, ein Schiff von 700 Tonnen, mit Maschinen von 320 Pferdekräften. Am 5. April verließ der Sirius, der 453 Tonnen Steinkohlen eingenommen hatte, den irländischen Hafen Cork, und drei Tage später folgte ihm von Bristol aus der Great-Western, welcher 660 Tonnen Steinkohlen und sieben Passagiere an Bord hatte. In den ersten Tagen ihrer Fahrt hatten beide Schiffe mit heftigem Westwinde zu kämpfen, und der Sirius kam nur langsam vorwärts; sein Lauf wurde aber von Tag zu Tag schneller, jemehr sein Tiefgang in Folge des Brennstoffverbrauches abnahm. Endlich, am Morgen des 23. April, befand sich der Sirius im Angesicht von New-York. Hier war man davon unterrichtet, daß ein englisches Dampfboot die Fahrt über den atlantischen Ocean versuchen wolle, und mit Spannung erwartete man das erste Schiff, durch welches es zur Gewißheit werden sollte, daß die neue Welt der alten um so vieles näher gerückt sei. Als daher am Morgen des 23. April am fernen Horizont eine Rauchwolke sichtbar wurde, bedeckten sich die Ufer des Hudson mit einer dichten Menschenmenge, welche der Ankunft des Sirius harrte. Dieser hatte die Flaggen Englands und der Vereinigten Staaten aufgehißt, und als er

Digitized by Google

in den Hafen von Neu-York einfuhr, begrüßten ihn die Batterien auf der Insel Bradlow mit sechs und zwanzig Salutschüssen. In das Dröhnen der Geschütze stimmte das Glockengeläute von allen Thürmen der Stadt ein. Sämmtliche Schiffe im Hafen legten ihren Flaggenschmuck an, und die jubelnde Menge umringte in zahllosen Booten das Schiff, welches nach einer siebzehntägigen, durch Dampfkraft zurückgelegten Fahrt dem Tochterlande die Grüße Alt-Englands überbrachte. Die Freude über die glückliche Ankunft des Sirius hatte noch nicht ausgeklungen, als auch der Great-Western mit voller Kraft herangerudert kam, und dicht vor seinem Nebenbuhler vor Anker ging. In seinem Tagebuche schreibt einer der Passagiere des Great-Western über den Empfang desselben in New-York: „Als wir uns dem Ufer näherten, umringte uns eine große Zahl dicht gefüllter Boote. Die Verwirrung und das Gedränge lassen sich nicht beschreiben; allenthalben wehten Flaggen, die Kanonen wurden gelöst, und alle Glocken waren in Bewegung. Eine unzählige Menschenmenge ließ laute Beifallsrufe erschallen, die von Zeit zu Zeit auf dem Lande und auf den Booten wiederholt wurden und sich endlich verloren. Die vollständige Stille, die darauf folgte, ließ uns das Ganze als einen Traum erscheinen.“ Manche von denen, die diesen 23. April erlebten, hatten ein und dreißig Jahre früher auch die erste Fahrt des Clermont anfänglich bespöttelt und dann bewundert.

Dampfschiffs-Maschinen.

Zur Umtreibung der Welle, auf welcher die beiden Ruderräder sitzen, wurden anfänglich nur Watt'sche doppeltwirkende Maschinen gebraucht. Da es bei den Schiffmaschinen nie an Wasser zur Condensation des Dampfes fehlt, so ist es natürlich, daß man sich den Nutzen derselben nicht entgehen läßt. Unter Beibehaltung der Condensation hat man aber auch nach und nach höher gespannte Dämpfe angewandt, und dabei zugleich einen größeren Gebrauch von der Expansion gemacht. Nur auf einzelnen Flußschiffen, besonders in Amerika, werden Hochdruckmaschinen ohne Condensation benutzt. Da bei Dampfschiffen die Anwendung eines Schwungrades nicht zulässig ist, so läßt man fast immer zwei vollständige Maschinen auf die Kurbelwelle wirken: man wendet also gekuppelte oder Zwillings-Maschinen an. Es ist nicht möglich, hier die verschiedenen Anordnungen näher zu beschreiben, welche man für die Dampfmaschine behufs ihrer Verwendung auf Schiffen ausgesonnen hat. Solche Beschreibungen lassen sich nur an genaue und große Zeichnungen anknüpfen, und diese sind doch wiederum nur dem zu vollem Verständniß zu bringen, welcher die Sprache erlernt hat und versteht, welche die Ansichten und Schnitte einer geometrischen Zeichnung reden.

Die Schraube.

Als Fulton sich für Schaufelräder als Treibapparat bei Dampfschiffen entschied, hatte er nur die Flußschifffahrt im Auge, und für diese war derselbe auch so richtig gewählt, daß man noch bis heute fast nirgends davon abgewichen ist. Bei der späteren Anwendung der Ruderräder für Seeboote zeigte es sich aber bald, daß sie für diesen Zweck nicht allen Anforderungen entsprachen, und verschiedene Nachtheile im Gefolge haben. Das durch Wind und Wellen verursachte Rollen der Seeschiffe, d. h. die schwingende Bewegung um ihre Längenachse, bewirkt, daß die beiden Schaufelräder sehr ungleich eintauchen, ja, daß oft eines derselben ganz aus dem Wasser heraustritt. Die Folge hiervon ist eine sehr ungleiche und nachtheilige Beanspruchung der Maschine, sowie eine bedeutende Erschwerung des Steuerns. Die großen Radkasten bieten dem Winde eine bedeutende Wirkungsfläche dar, und sind wegen ihrer Breite bei der Durchfahrt durch enge Hafeneingänge

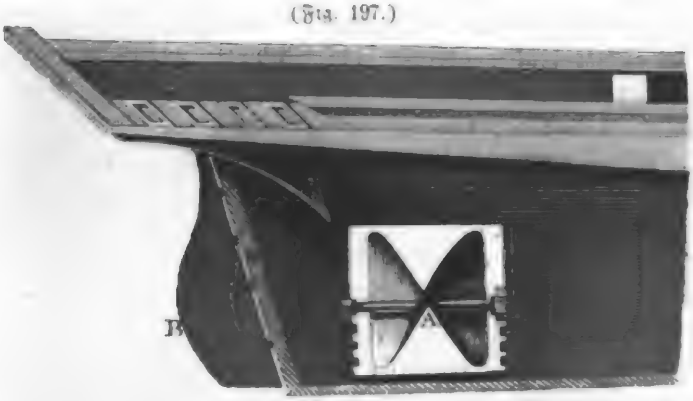
Digitized by Google

sehr hinderlich. Endlich sind Schaufelräder für Kriegsschiffe ganz ungeeignet, da sie einmal den feindlichen Kugeln viel zu sehr ausgesetzt sind, und dann auch einen zu großen Theil der Breitenseite des Schiffes einnehmen, wodurch sie den Raum zur Anbringung von Geschützen sehr verengen. Von allen diesen Nachtheilen ist ein anderer Treibapparat gänzlich frei, nämlich die Archimedische Schraube. Diese besteht der Hauptsache nach aus einer Spindel, um welche eine Fläche schraubenförmig herumgewunden ist. Umgiebt man eine Archimedische Schraube mit einem dicht anschließenden cylindrischen Mantel, so kann sie zum Wasserheben benutzt werden, wie dies auch wirklich im alten Egypten geschah. Umgekehrt muß auch eine horizontal liegende, ganz unter Wasser getauchte Archimedische Schraube, wenn sie in rasche Drehung um ihre Achse versetzt wird, einem mit ihr verbundenen Körper eine fortschreitende Bewegung ertheilen. Der Vorgang hierbei ist ganz ähnlich dem, welcher bei der Drehung einer gewöhnlichen Schraube in einer festgehaltenen Schraubenmutter statt findet. Bei der eben erwähnten Verwendung der Archimedischen Schraube vertritt das Wasser die Stelle der Schraubenmutter, in das jenes die Gewinde gleichsam einschneidet. Die Fortbewegung der Schraube kann hierbei aber natürlich nicht so groß sein, als wenn sie sich in einem festen Körper umdreht, da das Wasser nach den Seiten ausweicht, wodurch ein Theil der Wirkung verloren geht.

Der Gedanke, die Schraube als Treibapparat für Schiffe zu benutzen, ist schon sehr alt, und es wurden darüber, ebenso wie über die Anwendung der Schaufelräder, schon häufig Versuche gemacht, ehe noch die Dampfmaschine erfunden war, und irgendwie an die Dampfschifffahrt gedacht wurde. Durch die Einführung der letzteren erhielten aber jene Versuche wieder einen neuen und lebhaften Anstoß. Lange Zeit hindurch wollten dieselben indeß durchaus zu keinem günstigen Resultate führen, und die unermüdliche Ausdauer der tüchtigsten Ingenieure war erforderlich, um endlich aller Schwierigkeiten Herr zu werden. Wie in so vielen anderen Fällen war es auch diesmal wieder England, welches endlich die Mittel zur Erprobung einer neuen Erfindung und zu ihrer Einführung in die Praxis hergab. Nachdem englische und amerikanische Ingenieure vielfache Versuche über die beste Form der Schraube, und darüber, wo sie am Schiffe anzubringen sei, gemacht hatte, gelang es Ericson im Jahre 1838 ein kleines Boot zu bauen, welches mit zwei Schrauben ausgerüstet war; ungefähr in der Weise, wie es schon Delisle vorgeschlagen hatte. Fast gleichzeitig trat der Engländer Smith mit seinem Vorschlage hervor, nach welchem die aus einem Gang bestehende Schraube in einer in dem Schiffskörper, vor dem Steuerruder, hergestellten Oeffnung angebracht werden sollte. Nach diesem Plane ließ eine Gesellschaft im Jahre 1839 ein großes und schönes Schiff, den Archimedes, bauen. Da bei demselben die Schraube allen Erwartungen entsprach, so war ihre Benutzung als Treibapparat von nun an gesichert. Obgleich hinsichtlich der Form der Schraube noch zahlreiche Veränderungen versucht wurden, so blieb man doch meist bei der von Smith gewählten Anbringungsweise derselben stehen. In Fig. 197 ist das hintere Ende eines Schraubenschiffes dargestellt; A ist die Schraube, B das Steuerruder. Die Achse der Schraube geht durch eine Stopfbüchse hindurch in den Schiffskörper, und erhält hier von der Dampfmaschine ihre drehende Bewegung. Für eine gute Wirkung der Schraube ist es erforderlich, daß sie eine große Zahl von Umdrehungen macht, und zwar je nach ihrer Größe 100 bis 250 in der Minute.

Digitized by Google

(Fig. 197.)



Gewöhnlich ist es daher nicht möglich, die Dampfmaschine direct auf die Schraubenwelle wirken zu lassen, und es bedarf noch eines besonderen Räderpaares, um die nöthige Geschwindigkeit der Schraube hervorzubringen.

Die Vorzüge der Schraube vor den Schaufelrädern bestehen nun darin, daß die Schraube, da sie bei allen Bewegungen des Schiffes immer unter Wasser bleibt, die Maschine sehr gleichmäßig beansprucht, und daß sie die lästigen Radkasten unnöthig macht. Ferner läßt sich die Dampfmaschine, wenn sie eine Schraube umtreiben soll, compendiöser anordnen, als wenn sie auf Schaufelräder zu wirken hat. Hieraus erwächst natürlich eine Vergrößerung des Laderaumes. Dagegen vermag die Schraube einem Schiffe nur eine etwas kleinere Geschwindigkeit zu ertheilen, als Schaufelräder; und bei der schnellen Bewegung der Schraube und einzelner Maschinentheile erfordert die Unterhaltung derselben eine besondere Sorgfalt. — Für Kriegsschiffe ist die Schraube ein vortrefflicher Treibapparat, da sie selbst ganz unter Wasser liegt, und es auch möglich macht, daß die Dampfmaschine so tief in den Schiffsraum hinabgestellt wird, daß alle ihre Theile unter der Wasserlinie liegen, und also so viel wie möglich den feindlichen Kugeln entzogen sind. **Seit der Anwendung der Schraube werden die meisten Kriegsschiffe, selbst die von hundert und mehr Kanonen, als Dampfschiffe gebaut. So war während des letzten Krieges das Flaggenschiff des englischen Admirals in der Ostsee, der Duke of Wellington, ein Schrauben-Dampfschiff.**

Die Locomotive.

Die Dampfmaschine wurde ursprünglich im Interesse des Bergbaues erfunden, und dann von Watt bis zu dem Grade vervollkommnet, daß die gesammte Industrie sich ihrer bedienen konnte. Der Aufschwung, welchen in Folge dessen die Gewerbthätigkeit und das Fabrikwesen erfuhren, mußte in hohem Maße belebend auf den Handelsverkehr zurückwirken. Hierbei zeigte es sich aber bald, daß die bisherigen Transportweisen den neuen und verstärkten Anforderungen, welche die Industrie an sie stellte, nicht gewachsen waren, und der Gedanke lag sehr nahe, dieselbe Kraft, welche jene Anforderungen hervorgerufen hatte, auch zur Befriedigung derselben zu benutzen. Nur die Dampfkraft war im Stande, den durch die neuen industriellen Ver-

Digitized by Google

hältnisse mächtig anschwellenden Verkehrsstrom in genügend raschem Fluß zu erhalten. Daß es soviel früher gelang, die Dampfkraft für den Transport zu Wasser als für den auf dem Lande zu benutzen, hängt enge mit dem Entwickelungsgange zusammen, welchen die Erfindung der Dampfmaschine genommen hat. Die Maschine mit Condensation, welche sich für das Dampfschiff so gut eignet, ist zur Herstellung eines Dampfwagens durchaus untauglich. Und dann konnte das Dampfschiff die schon vorhandenen Wasserstraßen gemeinschaftlich mit allen anderen Schiffen befahren, während der Dampfwagen sich nur auf besonderen, erst zu bauenden Straßen — den Eisenbahnen — mit Vortheil gebrauchen läßt.

Erste Dampfwagen.

Einige Versuche, die gemacht wurden, um die ältere Dampfmaschine zur Fortbewegung eines Wagens zu benutzen, blieben, wie dies auch nicht anders sein konnte, ohne jeden Erfolg. Die Ausführung des Problems, einen Dampfwagen herzustellen, wurde erst dann möglich, als durch Olivier Evans die Maschine ohne Condensation, die Hochdruckmaschine ausgebildet und in die Praxis eingeführt wurde. Evans selbst beschäftigte sich, wie schon oben auf S. 278 bemerkt wurde, lange Jahre mit der Erfindung eines Dampfwagens, und es gelang ihm auch einen solchen zu bauen und damit in den Straßen von Philadelphia umherzufahren. Zwei englische Ingenieure in der Grafschaft Cornwales, Trevithick und Vivian, führten die Hochdruckmaschine im Jahre 1801 in England ein, und kamen ebenso wie Evans auf den Gedanken, dieselbe zur Bewegung eines Wagens zu gebrauchen. Auch gelang ihnen die Ausführung ihres Planes, und sie erhielten (1802) sogar ein Patent, welches ihnen das ausschließliche Recht, gewöhnliche Straßen mit Dampfwagen zu befahren, sicherte. Aber sowohl sie wie Evans scheiterten mit ihrem Unternehmen, und zwar nicht in Folge äußerer Einflüsse und Behinderungen, sondern wegen Nichtbeachtung einiger Bedingungen, unter welchen allein ihr Project ausführbar war. Denn wenn es auch den genannten Ingenieuren gelang, den Transport zu Lande mittelst Dampfkraft zu ermöglichen, so gewährte doch die Art und Weise, wie sie diesen Gedanken verwirklichten, keinerlei Vortheile. Gewöhnliche Straßen eignen sich nun einmal nicht dazu mit Dampfwagen befahren zu werden. Der Widerstand, welchen dieselben der Bewegung eines Fuhrwerkes entgegensetzen, ist beträchtlich, und zugleich meist sehr veränderlich wegen der in weiten Grenzen wechselnden Steigungen dieser Straßen. Ferner verursachen die Unebenheiten derselben Stöße, denen auch der stärkst gebaute Dampfwagen, bei seinem künstlichen Mechanismus, nicht lange zu widerstehen vermöchte. Endlich würde die Benutzung der gewöhnlichen Straßen die Anwendung jeder bedeutenden Geschwindigkeit ausschließen, da diese mit zu großen Gefahren verbunden wäre. Nach mancherlei Versuchen kamen denn auch Trevithick und Vivian zu der Ueberzeugung, daß sie auf ihr erstes Project verzichten müßten. Um indessen nicht alle Früchte ihrer Bemühungen zu verlieren, beschlossen die beiden Erfinder, ihren Dampfwagen zum Befahren der schon seit längerer Zeit bei den Kohlengruben angelegten Schienenwege einzurichten. Die Wichtigkeit eines leichten Transportes der beim Bergbau gewonnenen Erze und Kohlen hatte schon frühe dazu geführt, auf den Gruben Holzbahnen anzulegen, bei denen die Räder auf Gleisen liefen, die aus zusammenstoßenden Langhölzern gebildet waren. Wann solche Holzbahnen zuerst in England benutzt worden sind, läßt sich nicht angeben, doch waren sie nach einem im Jahre 1676 erschienenen Buche schon damals in Newcastle in Gebrauch.

Holzbahnen.

Digitized by Google

Die Holzgleise waren aber in Folge ihrer raschen Abnutzung sehr kostspielig, und um dieselbe zu vermindern, nagelte man später auf der oberen Fläche der Hölzer dünne Eisenstreifen auf. Als mit der allmäligen Vermehrung der Eisenproduction der Preis des Eisens sank, ging man dazu über, an Stelle der hölzernen Schienen solche von Gußeisen anzuwenden. Der erste Versuch hiermit wurde im Jahre 1738 gemacht, und dreißig Jahre später wurde der Gebrauch der gußeisernen Schienen allgemein. Hierzu trugen besonders die Bemühungen von William Reynolds bei, der als Mitbesitzer der großen Gießerei von Colerook-Dale diesem Werke einen neuen und bedeutenden Absatzweg eröffnen wollte. Die hier gegossenen Schienen waren an ihrer äußeren oberen Kante mit einer nach oben vorspringenden Leiste versehen, welche das Ablaufen der Räder verhindern sollte. Diese Einrichtung verursachte aber ein häufiges Festklemmen der Räder, weßhalb sie (1789) von W. Jessop dahin abgeändert wurde, daß die Leiste an den Schienen wegfiel, wogegen die Räder an ihrem Umfange einen herumlaufenden Spurkranz erhielten. Es ist dies dieselbe Anordnung, welche noch heute bei allen unseren Eisenbahnen befolgt wird. Im Anfange dieses Jahrhunderts wurde das Material der Schienen nochmals gewechselt, und statt der gußeisernen kamen allmälig aus Schmiedeisen gewalzte Schienen in Gebrauch, die namentlich den nicht zu vermeidenden Stößen weit besser widerstehen als jene. Eisenbahnen.

Als Trevithick und Vivian sich entschlossen, mit ihrem zu einer Locomotive umgeänderten Dampfwagen keine gewöhnlichen Landstraßen, sondern nur Schienenwege zu befahren, erkannten sie durchaus nicht, daß dies ein wichtiger und zugleich nothwendiger Schritt sei zur Erreichung ihres Zieles: die Dampfkraft für den Landtransport dienstbar zu machen. Sie hielten das, was in Wirklichkeit ein Fortschritt war, für eine beklagenswerthe Beschränkung ihres Projectes, die man sich nur in Ermangelung von besseren Mitteln gefallen lassen müsse. Diese Ansicht hatte ihren Grund in einem sonderbaren Vorurtheil, welches damals von allen Ingenieuren getheilt wurde. Man glaubte nämlich, daß die Reibung zwischen den eisernen Schienen und den durch Dampfkraft umgetriebenen Rädern einer Locomotive zu gering sei, als daß letztere irgend bedeutende Lasten fortzuziehen vermöge. Man fürchtete, die Räder würden sich umdrehen, ohne auf den Schienen fortzurollen. Diese Furcht spielte fast ein ganzes Jahrzehent die Rolle eines neckischen Kobolds, und veranlaßte allerlei Erfindungen, durch welche eine in Wirklichkeit gar nicht bestehende Schwierigkeit glücklich überwunden werden sollte. Unwillkührlich wird man an den Kampf des edlen Junkers von La Mancha mit den Windmühlen erinnert, wenn man einen Blick auf die Mittel und Bemühungen wirft, mit denen manche Ingenieure über das nur von ihrer Einbildungskraft geschaffene Hinderniß obsiegen wollten. So brachte z. B. ein Herr Blenkinshop an der einen Schienenreihe eines Gleises eine Zahnstange an, in welche ein von der Dampfkraft umgetriebenes Zahnrad eingriff. Endlich, im Jahre 1813, kam Herr Blackett auf den glücklichen Gedanken, einmal wirklich zu versuchen, ob denn die Reibung zwischen den Schienen und den Treibrädern der Locomotive wirklich so gering und ungenügend sei, wie man seit vielen Jahren unaufhörlich behauptete. Und siehe da, jener lang genährte Wahn verschwand vor einigen einfachen Versuchen, wie der Nebel vor der Sonne. Plötzlich stand die Thatsache fest, daß es gar keiner künstlichen Hülfsmittel bedürfe, damit die auf die Treibräder einer Locomotive ausgeübte Kraft im Stande sei, einen Wagenzug auf eisernen Schienen fortzubewegen.

Erste Locomotive.

Ein Jahr nach dieser wichtigen Entdeckung baute Georg Stephenson seine erste Locomotive für die Gruben von Killingworth, und im folgenden Jahre (1815) wurden auf der Kohlenbahn von Stockton nach Darlington die bisher benutzten Pferde durch Locomotiven von Stephenson ersetzt. Der Kessel derselben war cylindrisch, hatte eine Länge von 8 Fuß, einen Durchmesser von $5^3/_4$ Fuß, und war nach Art der Cornischen Kessel der Länge nach von einem $1^1/_2$ Fuß weiten Feuerrohre durchzogen. Die eigentliche Dampfmaschine hatte zwei vertikal stehende Cylinder, deren Kolbenstangen mittelst seitlich herabgehender Schubstangen die Triebräder in Umdrehung setzten. Die Geschwindigkeit dieser Locomotiven war aber noch sehr gering, da sie in der Stunde nur $^3/_4$ Meilen zurücklegen konnten. Trotzdem verbreiteten sich dieselben in England, wo in den Grubenbezirken zahlreiche, besonders zum Kohlentransport dienende Schienenwege angelegt worden waren. Als im Jahre 1826 eine Eisenbahn gebaut wurde, um die Kohlen von Saint-Etienne nach Lyon zu schaffen, ließ man von Stephenson in Manchester zwei Locomotiven kommen, um darnach für den weiteren Bedarf selbst welche zu bauen. Herr Seguin, der Director jener Eisenbahn, fand die Geschwindigkeit der beiden englischen Maschinen doch gar zu gering. Bei seinen Bemühungen dieselbe zu erhöhen, erkannte er bald, daß zur Erzielung einer größeren Geschwindigkeit eine größere Dampfproduction erforderlich sei. Und um diese zu ermöglichen, mußte ein Dampfkessel von größerer Feuerfläche angewandt werden, eine Bedingung, deren Erfüllung mit vielen Schwierigkeiten verbunden war. Ein Kessel von irgend einer der damals bekannten Arten würde, wenn er die gewünschte Feuerfläche hätte darbieten sollen, Abmessungen erhalten haben, welche seine Verwendung bei einer Locomotive gänzlich unstatthaft gemacht hätten. Da die vorhandenen nicht genügten, so erfand Seguin eine neue Kesselart: den Röhrenkessel, welcher die Vorzüge großer Compendiösität und bedeutender Feuerfläche vereinigt. Bei den ersten von Seguin angewandten Röhrenkesseln gingen 43 Röhren durch den cylindrischen Theil des Kessels hindurch. Da der kurze Kamin einer Locomotive nicht im Stande ist, bei den vielen engen Rauchröhren einen genügenden Zug zu erzeugen, so brachte Seguin vor dem Aschenfalle einen kleinen Ventilator an, der von der Maschine in Bewegung gesetzt, durch den Rost die erforderliche Luftmenge in den Feuerraum einblies.

Eisenbahn von Liverpool nach Manchester.

Durch die Seguin'sche Erfindung war das Mittel gegeben, aus der Locomotive das zu machen, was sie heute ist. Es bedurfte jetzt nur noch eines äußeren Anstoßes, um zu den großen Gebieten, auf denen die Dampfkraft schon gänzlich eingebürgert war, noch ein neues und sehr wichtiges hinzuzufügen. Und wirklich war auch das Unternehmen bereits begonnen, von dem dieser Anstoß ausgehen sollte. In England war in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts zur Erleichterung des ungeheueren inneren Verkehres ein ausgedehntes Canalnetz angelegt worden. Obgleich die auf diese Anlagen verwandten Gelder sehr gute Zinsen trugen, so suchten doch die Eigenthümer dieser Wasserstraßen ihre Einkünfte aus denselben auf eine ungebührliche, den ganzen Handel sehr drückende Weise zu erhöhen. Dazu kam noch, daß sich bei den Versendungen auf den Canälen allmählig große Nachlässigkeiten und Saumseligkeiten eingeschlichen hatten, so daß z. B. Baumwolle, die in ein und zwanzig Tagen von Amerika nach Liverpool gekommen war, von hier aus ein und einen halben Monat gebrauchte, um auf dem Kanal nach dem nur sieben Meilen entfernten Manchester zu ge-

Digitized by Google

langen. Zur Abhülfe dieser großen Uebelstände wandte man sich zunächst in mehreren Petitionen an das Parlament, damit dieses die Canalgesellschaften zur Erfüllung der bei ihrer Bestätigung übernommenen Verpflichtungen anhalte. Als dieses Mittel nicht den gewünschten Erfolg hatte, wurden in mehreren Städten Versammlungen abgehalten, um darüber zu berathen, wie die Herrschaft der Canalgesellschaften zu brechen sei. Eine dieser Versammlungen fand am 20. Mai 1826 in Liverpool statt, und es wurde in derselben beschlossen, von dieser Stadt nach Manchester eine Eisenbahn zu bauen. Nach der anfänglichen Ansicht sollte dieselbe aber nur zum Waarentransporte dienen, Niemand dachte daran, auch Personen auf derselben zu befördern. Im Anfange des Jahres 1829 war die Eisenbahn so weit vollendet, daß eine Entscheidung darüber getroffen werden mußte, ob die Bahn mit Pferden oder mit Dampfkraft betrieben werden solle. Zur Untersuchung dieser Frage begab sich eine Commission in die Grafschaften Northumberland und Durham, um die hier zum Grubenbetrieb angelegten Eisenbahnen zu besichtigen. Als Ergebniß dieser Reise sprach die Commission die Ueberzeugung aus, daß dem zu erwartenden lebhaften Verkehr zwischen Liverpool und Manchester nur durch Anwendung der Dampfkraft genügt werden könne. Nun blieb aber noch die Wahl zwischen Locomotiven und feststehenden Dampfmaschinen, welche die Wagen dadurch bewegen sollten, daß sie ein an denselben befestigtes Seil auf großen Trommeln aufwickelten. Zwei um ihre Ansicht befragte Ingenieure gaben den festen Maschinen den Vorzug, während Stephenson, welcher Ingenieur der Gesellschaft war, sich zu Gunsten der Locomotiven aussprach. Seiner Ansicht trat die Direction der Gesellschaft bei, und auf den Vorschlag des Directors Herrn Harrison wurde der Beschluß gefaßt, die Lieferung der besten Locomotive zum Gegenstand einer öffentlichen Preisbewerbung zu machen. Am 20. April 1829 wurden die Bedingungen derselben veröffentlicht. Die Anforderungen waren sehr mäßig gestellt. So sollten z. B. die Maschinen auf horizontaler Bahn in der Stunde 2 Meilen durchlaufen, und wenn sie auf vier Rädern ruhten, bei einem Gewichte von 90 Centnern eine Last von 300 Centnern fortziehen. Für die beste Maschine, welche den gestellten Anforderungen entsprach, wurde ein Preis von 500 Pfund Sterling bestimmt.

Zu dem am 6. October 1829 beginnenden Wettkampfe waren fünf Maschinen geliefert worden, von denen die von Robert Stephenson in Manchester, einem Sohne von Georg Stephenson, gebaute Locomotive den Preis gewann. Dieselbe durchlief mit der vorgeschriebenen Last drei Meilen pro Stunde, und ohne alle Belastung selbst fünf Meilen. Stephenson hatte bei seiner Maschine einen Röhrenkessel angewandt, aber den Zug nicht durch einen Ventilator, sondern dadurch hervorgebracht, daß er den gebrauchten Dampf durch den Kamin entweichen ließ. Die Hauptanordnung seiner Locomotive war die gleiche, welche auch heute noch befolgt wird. Nachdem die Stephenson'sche Locomotive solche glänzende, alle Erwartungen weit übertreffende Proben ihrer Leistungsfähigkeit abgelegt hatte, trat das Eisenbahnunternehmen zwischen Liverpool und Manchester in ein ganz neues Stadium. Die Personenbeförderung trat nun in gleiche Reihe mit dem Waarentransport, und auf der ersten Eisenbahn, nach dem heutigen Begriff dieses Wortes, begannen im Anfang des Jahres 1830 die regelmäßigen Fahrten. Das Beispiel der Liverpool-Manchester Bahn wirkte fast wunderbar. Zunächst in England, und bald auch in Deutschland, Frankreich, Belgien und Amerika

Digitized by Google

wurden ungeheure Kräfte auf den Eisenbahnbau verwandt, so daß binnen der kurzen Zeit von fünf und zwanzig Jahren diese Länder mit sehr ausgedehnten Eisenbahnnetzen bedeckt wurden. Gewaltige Bauwerke sind ausgeführt worden, um der Locomotive den Weg zu bahnen, um sie durch kühne Tunnels durch das Innere der Berge hindurch, und über Viadukte und Brücken über Thäler und Flüsse zu führen.

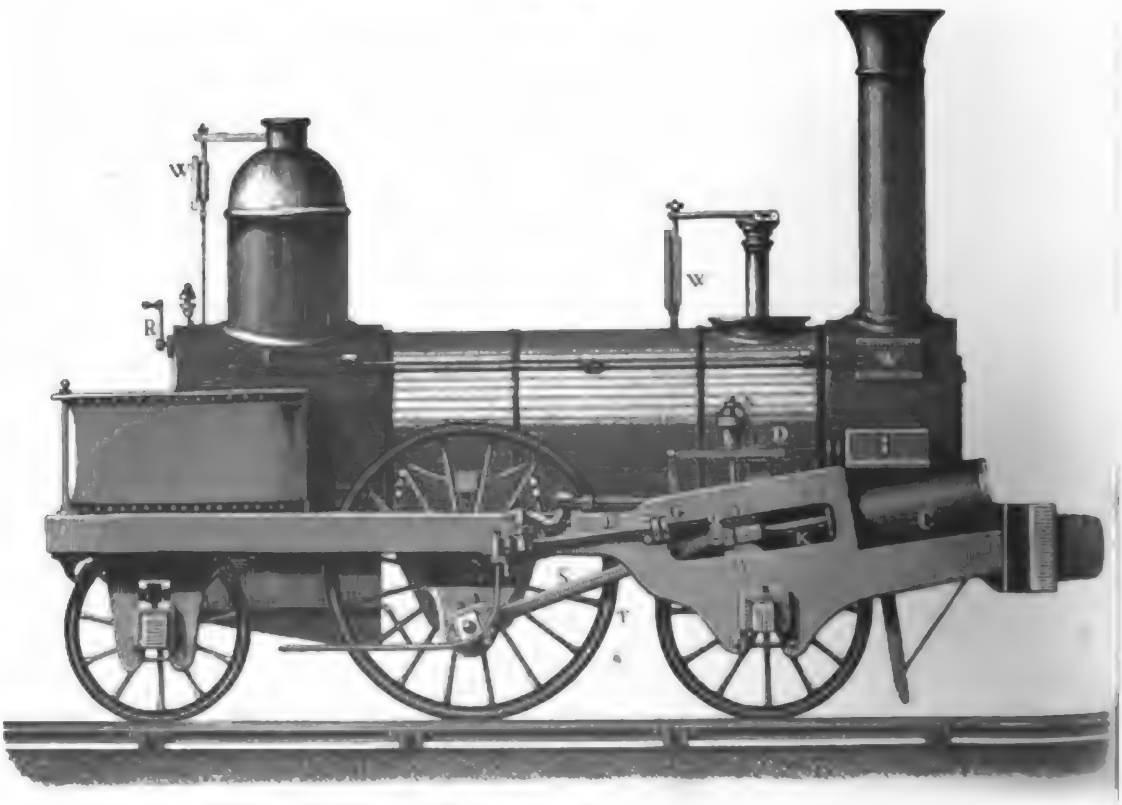
Seit der Zeit, wo die Locomotive den ersten Zug von Liverpool nach Manchester bewegte, hat sich eine große Zahl von Ingenieuren damit beschäftigt, diese so ungemein wichtige Maschine zu verbessern und weiter auszubilden; diesen vereinten, nicht leicht von einander zu sondernden Anstrengungen ist es denn auch zu verdanken, daß die Locomotive jetzt so Außerordentliches leistet, sowohl hinsichtlich der Größe der Lasten, welche sie fortzieht, als auch in Bezug auf die Schnelligkeit, mit der sie auf dem eisernen Geleise dahineilt.

Beschreibung einer Locomotive.

Zum Schlusse dieses Aufsatzes möge noch der Versuch gemacht werden, mit Hülfe einiger Zeichnungen die Haupteinrichtung einer Maschine zu verdeutlichen, wie sie jetzt zum Befördern von Personenzügen gebraucht werden.

Bei jeder Locomotive sind drei Haupttheile zu unterscheiden: das Gestell mit den Achsen und Rädern, der Kessel und die eigentliche Dampfmaschine. Das im Grundriß rechteckige Gestell ist aus starkem Eisenblech zusammengesetzt; an demselben sind die Lager angebracht, mittelst deren zunächst das Gestell und weiter die ganze Locomotive auf den Zapfen der Räderachsen aufruht. Die vorliegende Locomotive hat drei Räderpaare, Fig. 198, von denen die beiden äußeren nur zum Unterstützen dienen, während das mittlere das Treibräderpaar ist, welches von der Dampfkraft in Um-

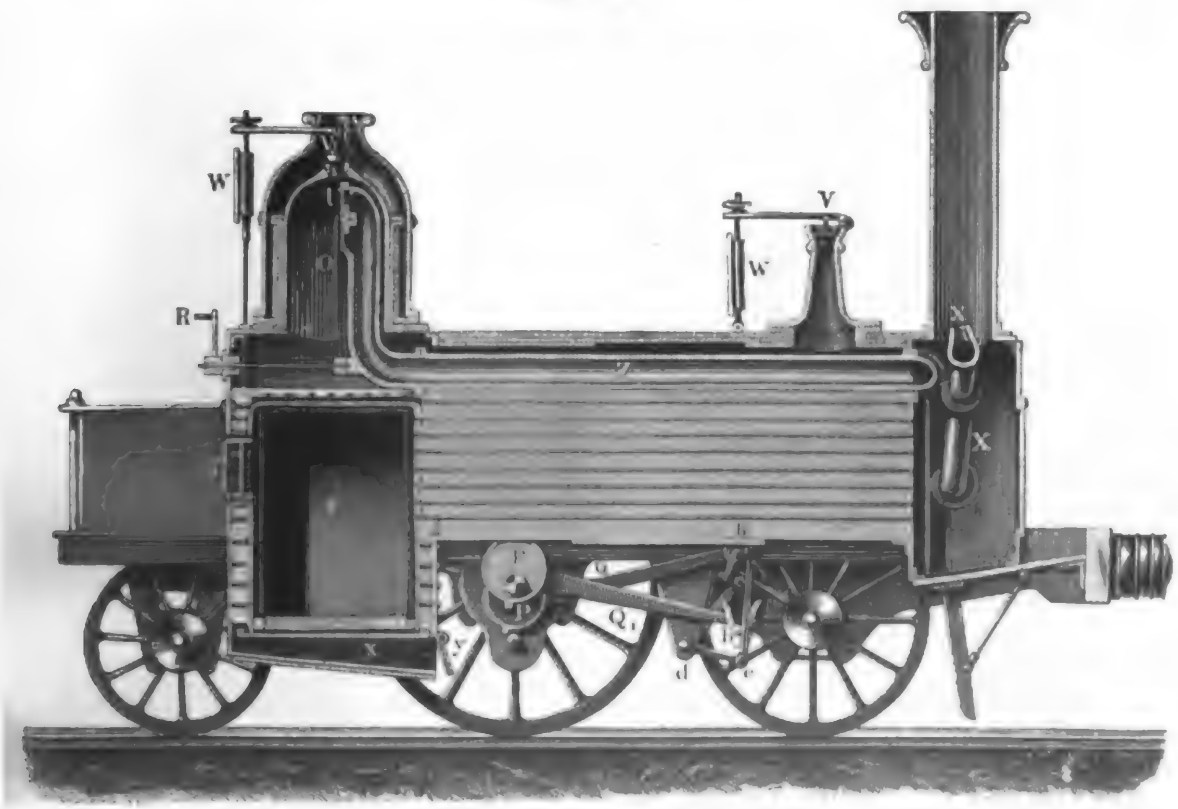
(Fig. 198.)



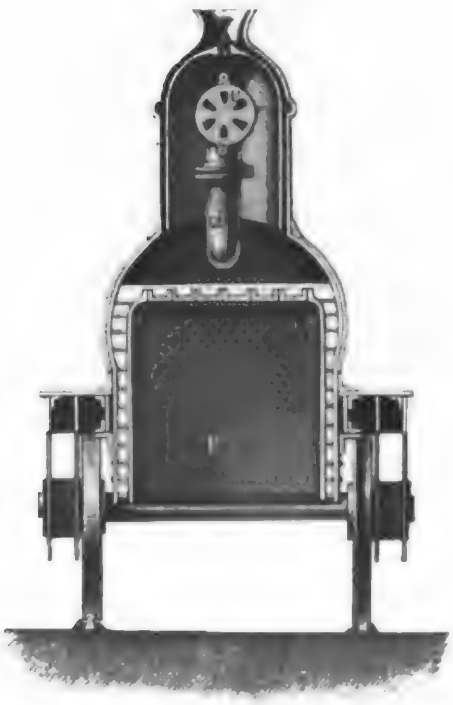
Digitized by Google

drehung geſetzt wird. Der Keſſel, der ſich auf die Langſeiten des Geſtelles ſtützt, beſteht aus einem kaſtenförmigen und aus einem ſich an dieſen anſchließenden cylindriſchen Theil; jener enthält den Feuerraum, dieſer eine große Zahl von Rauchröhren. Fig. 199 zeigt einen Längendurchſchnitt der Maſchine. Man ſieht hier den unten durch den Roſt abgeſchloſſenen Feuerraum F; unter demſelben befindet ſich der Aſchenfall x, an dem vorne eine zur Regulirung des Zuges dienende Klappe y angebracht iſt. g iſt die Thüre, durch welche das Brennmaterial auf den Roſt geworfen wird. Der Feuerraum wird in einem kleinen Abſtand von dem kaſtenförmigen Theil des Dampfkeſſels umgeben; die ſeitlichen Zwiſchenräume zwiſchen beiden ſind mit Waſſer gefüllt, welches auch die obere Decke des Feuerraumes bedeckt. Die durch den cylindriſchen Theil des Keſſels hindurchgehenden Rauchrohre münden mit ihrem einen Ende in den Feuerraum, und mit dem anderen in die Rauchkammer, welche ſich an jenen Keſſeltheil anſchließt. Die Anordnung der Rauchröhren erſieht man aus den Fig. 200 und 201, wovon jene einen Querſchnitt durch den Feuerkaſten, und dieſe einen ſolchen durch die Rauchkammer zeigt. Am hinteren Ende des Keſſels befindet ſich der Dampfdom O, und ſowohl auf dieſem, wie am vorderen Keſſelende ein Sicherheitsventil V, von denen jedes mit einer Federwage W in Verbindung ſteht. Außerdem ſind am Keſſel noch Probirhähne und ein Waſſerſtandszeiger angebracht. Auf der Rauchkammer ſteht ein kleiner Kamin zur Abführung der Verbrennungsgaſe. — Zu jeder Seite der Rauchkammer iſt ein Dampfcylinder C angebracht; die Bewegung des Kolbens wird durch die Kolbenſtange K und die Schubſtange S auf den am Treibrade befeſtigten Kurbelzapfen übertragen. Ueber dem Cylinder befindet ſich das Schiebergehäuſe B. Durch das oben im Dampfdom

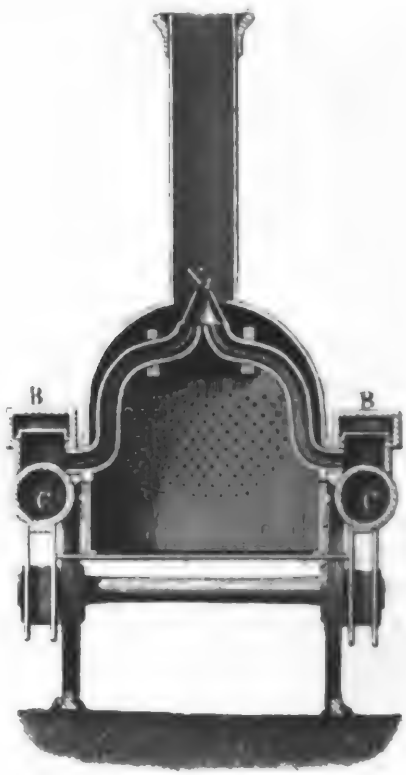
(Fig. 199.)



(Fig. 200.)



(Fig. 201.)



mündende, durch den ganzen cylindrischen Kesseltheil hindurchgehende und sich in der Rauchkammer in zwei Zweige spaltende Rohr Z wird der Dampf den Cylindern zugeführt. Durch Drehung der vor der Mündung des Rohres Z befindlichen, durchlöcherten Scheibe (Fig. 200) kann der Dampfzutritt zu den Cylindern gestattet oder abgesperrt werden. Die Drehung dieser Scheibe geschieht mittelst des Hebels R, des sogenannten Regulators. Der aus den Cylindern austretende Dampf entweicht durch die Rohre X, Fig. 199 u. 201, in den Kamin, und bewirkt hierdurch einen heftigen Zug. Zur Bewegung jedes der beiden Vertheilungsschieber sind auf der Treibräderachse zwei Excentrics P und P angebracht, Fig. 199, deren Stangen Q und Q, an ihren Enden in die Gabeln b und b, auslaufen. Von diesen läßt man die eine oder andere, je nachdem die Locomotive vorwärts oder rückwärts laufen soll, an den Endzapfen eines Hebels anfassen, durch dessen Bewegung der betreffende Schieber hin und her gezogen wird. — An jeder Seite des Gestelles ist eine zur Kesselspeisung dienende kleine Saug- und Druckpumpe H angebracht, deren Kolben G an dem Kreuzkopfe befestigt ist, welcher die Kolben- mit der Schubstange verbindet. Diese Pumpe saugt aus einem Reservoir, welches auf einem mit der Locomotive verbundenen besonderen Wagen, dem Tender, angebracht ist. Auf dem Tender wird ferner der für eine gewisse Fahrzeit erforderliche Brennstoff mitgeführt.

II.

Electrische Telegraphie, Galvanoplastik, Daguerreotypie und Photographie.

Von

Dr. E. Nauck,

Direktor der Provinzial-Gewerbeschule in Crefeld.

Digitized by Google

Digitized by Google

Einleitung.

Die Gegenwart nimmt in culturgeschichtlicher Beziehung eine höchst bedeutungsvolle Stelle ein. Wir stehen an den Pforten einer neuen Zeit. Die schon begonnene Phase in der Entwicklung des Menschengeschlechts ist die Herrschaft des erkennenden Geistes über die Naturkräfte.

Doch „die Natur gehorcht dir nur, wenn du zuvor auf sie gehorcht". Nur durch unzählige sorgfältige Beobachtungen, nur dadurch, daß der Forscher experimentirend der Natur Fragen vorlegte und die mit verschärften Sinnen abgelauschten, zum Theil sehr räthselhaften und complicirten Antworten mit vorurtheilsfreiem Geiste zu entziffern wußte, ist es in vielen Fällen möglich geworden, den Zusammenhang, das Gesetz zu finden, welches auch scheinbar widersprechende Erscheinungen vereinigt; aus den Wirkungen auf die Kräfte zu schließen und sich durch Schlüsse den ewigen Gesetzen zu nähern, durch welche alles Erschaffene regiert wird. Erst hiermit ist die Naturforschung zur Naturwissenschaft geworden.

Ohne den Vorwurf der Unbescheidenheit darf diese jüngste der Wissenschaften in den Kreis ihrer älteren Schwestern als ebenbürtig eintreten; in wenigen Jahrzehnden hat sie die großartigsten Eroberungen gemacht und bereits in allen Verhältnissen der Kunst und Industrie, des Handels und des gesammten Verkehrs einen Einfluß gewonnen, ja eine Umwälzung hervorgebracht, welche in der Geschichte ihres Gleichen nicht hat und deren Endresultate die schwindelnde Phantasie kaum zu fassen vermag.

Raum und Zeit, welche bisher die einzelnen Menschen und die Völker trennten, werden durch die neueren Verkehrsmittel zum Verschwinden gebracht; die Menschheit ist im Begriff, sich zu einem Organismus zu gestalten. Die Zeit ist vielleicht nicht fern, wo alle Länder und Welttheile durch das Zaubernetz der electrischen Telegraphie in unmittelbaren geistigen Verkehr gesetzt sein werden. Wenn durch Eisenbahnen und Dampfschiffe, wie durch Blutgefäße, der materielle Verkehr immer lebhafter pulsirt, so muß das Telegraphennetz, welches bereits den größten Theil der civilisirten Welt umspannt und immer weiter sein Geflecht verzweigt, als das Nervensystem der als

Digitized by Google

Organismus gedachten Menschheit bezeichnet werden, durch welchen das geistige Leben, die Mittheilung des Gedankens, mit Blitzesschnelle vermittelt wird.

Mittheilung aber ist die Grundbedingung des geistigen Fortschritts. Mit Recht wird die Erfindung der Buchdruckerkunst als der Markstein einer neuen Zeit angesehen; den genannten großartigen Erfindungen der unmittelbaren Vergangenheit muß mindestens eine gleiche culturhistorische Bedeutung zugesprochen werden.

Für Jeden, welcher auf Bildung Anspruch macht, ist es zur unerläßlichen Bedingung geworden, von den in neuester Zeit dem Dienste der Menschheit unterworfenen Kräften, die jetzt das Leben bewegen und umgestalten, eine mehr als oberflächliche Kenntniß zu besitzen. — Hierzu will der nachfolgende Bericht über einige der bedeutenderen und folgereicheren Anwendungen der Naturkräfte einen Beitrag liefern.

Digitized by Google

Die electrische Telegraphie.

Frühere Versuche.

Die ungeheure Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Electricität, welche schon um die Mitte des vorigen Jahrhunderts die Physiker beschäftigte, erweckte den Gedanken, diese geheimnißvolle Kraft zu telegraphischen Zwecken zu benutzen.

Der erste Versuch einer electrischen Telegraphie wurde wahrscheinlich 1774 von dem Genfer Lesage gemacht. Sein Telegraphenmodell bestand aus 24 isolirten Metalldrähten, deren jeder an beiden Enden mit dem nämlichen Buchstaben bezeichnet war. Um einen Buchstaben zu signalisiren, verband man den einen Endpunkt des betreffenden Drahtes mit dem Conductor einer Electrisirmaschine und brachte hierdurch ein Paar Hollundermark-Kügelchen am andern Ende zur Divergenz. Lesage.

Bétancourt spannte 1798 einen Draht zwischen Madrid und Aranjuez aus und gab die verabredeten Zeichen durch die Entladung Kleist'scher Flaschen; die Bedeutung der Zeichen wurde durch die Zeitintervalle der aufeinander folgenden Entladungen bestimmt. Bétancourt.

Doch konnten diese und ähnliche Versuche, die Reibungselectricität für telegraphische Zwecke zu benutzen, zu keinem genügenden Resultate führen. Die Erregung dieser Kraft ist gar zu sehr von dem Feuchtigkeitsgehalte der Luft abhängig und die Isolirung der Leitungsdrähte schon auf kurze Strecken sehr schwierig, bei einer mäßigen Feuchtigkeit der Atmosphäre aber geradezu unmöglich.

Nach der Entdeckung der Berührungs-Electricität durch Galvani und Volta wurde auch die Benutzung dieser Kraft zum Telegraphiren in Vorschlag gebracht. Sömmering construirte 1807 den ersten galvanischen Telegraphen und stellte denselben im Akademiegebäude zu München auf. Mittelst einer starken volta'schen Säule konnte eine chemische Zersetzung des Wassers und damit eine Gasentwickelung eingeleitet werden in 35 kleinen mit den Buchstaben und Zahlen bezeichneten Fläschchen, welche durch eben so viel lange und isolirte Drähte mit den Polen der volta'schen Säule verbunden wurden. Die hohen Kosten der Drahtleitung und die Schwierigkeit ihrer Isolirung ließen auch diesen Versuch als unausführbar im Großen erscheinen. Sömmering.

Als mit der Entdeckung des Electromagnetismus die Möglichkeit gegeben war, durch den galvanischen Strom in sehr großer Entfernung leicht und sicher eine bedeutende mechanische Kraft zu erzeugen, da konnte die Lösung des Problems der electrischen Telegraphie als sicher betrachtet werden.

Magnetismus und Electricität waren bis zum Jahre 1820 zwei ganz

Digitized by Google

getrennte Kapitel der Physik; doch zeigen die bis dahin bekannten magnetischen und electrischen Erscheinungen so viele Analogieen, daß an einen Zusammenhang dieser beiden Kräfte wohl gedacht werden konnte, zumal da wiederholt die magnetisirende Wirkung des Blitzes beobachtet und es auch mehreren Physikern gelungen war, durch den Funken der Electrisirmaschine Stahlnadeln magnetisch zu machen. Dem Genie Oersted's gebührt der Ruhm, den früher geahnten Zusammenhang beider Kräfte entdeckt und nachgewiesen zu haben. Seine Beobachtung, daß beim Schließen und Oeffnen eines galvanischen Stroms eine in der Nähe des Leitungsdrahtes befindliche Magnetnadel in Bewegung gerieth, kann unbedenklich als die wichtigste und folgenreichste des an naturwissenschaftlichen Eroberungen so reichen neunzehnten Jahrhunderts bezeichnet werden; sie hat eine lange Reihe der glänzendsten Entdeckungen zur unmittelbaren Folge gehabt, durch welche die gesammte Naturkenntniß wesentlich gefördert worden ist. Noch in demselben Jahre
Ampère. machte Ampère, welcher die Oersted'sche Entdeckung aus einem allgemeineren Gesichtspunkte betrachtete, der scharfsinnige Begründer der jetzt allgemein angenommenen Theorie des Magnetismus, den Vorschlag eines electromagnetischen Telegraphen, welchen er gemeinschaftlich mit Ritchie im Modell ausführte: den Buchstaben des Alphabets entsprachen eben so viele, mit Multiplikatordrähten (s Fig. 176. S. 215) umgebene Magnetnadeln. Die Drähte führten zu einer entfernt stehenden galvanischen Batterie, mit deren Polen sie durch ein Tastenwerk in Verbindung gesetzt werden konnten. Das Zeichengeben sowohl als das Ablesen ging leicht und schnell und erforderte eine geringe electromotorische Kraft; jedoch machten die zu bedeutenden Kosten der Leitungsdrähte die Ausführung im Großen unmöglich.

Einen vollkommen ausführbaren Nadeltelegraphen schlug 1832 der rus-
Schilling von Cannstatt. sische Staatsrath Baron Schilling von Cannstatt vor. Er wandte nur einen Schweiggerschen Multiplikator und zwei Leitungsdrähte an und bezeichnete die verschiedenen Buchstaben durch die Combination mehrerer Ablenkungen nach rechts und links, indem der Zeichengeber mit einem Stromwender versehen war, durch welchen die Richtung des galvanischen Stroms nach Belieben umgekehrt werden konnte. Diese ganz brauchbare Idee kam jedoch nicht zur Ausführung.

Den ersten wirklich ausgeführten electromagnetischen Telegraphen erfan-
Gauß und Weber. den 1833 die Professoren Gauß und Weber in Göttingen. Sie bedienten sich des von Faraday 1831 entdeckten Inductionsstromes (s. S. 222), welchen sie mittelst eines starken Stahlmagneten in einer Drahtrolle von 7000 Umwindungen erregten. Zwei Kupferdrähte, über die Thürme und Häuser der Stadt gespannt, verbanden die Sternwarte mit dem physikalischen Cabinet; hier befand sich ein starker Multiplicator mit einem 25 Pfund schweren Magneten, durch dessen Zuckungen nach rechts und links die einzelnen Buchstaben und Zahlen bezeichnet wurden. Für die magnetischen und astronomischen Beobachtungen beider Gelehrten genügte dieser electromagnetischen Telegraph vollkommen; es galt nun, die Erfindung im Großen praktisch brauchbar zu machen. In dieser Richtung haben vorzugsweise drei Gelehrte sich unsterbliche Verdienste erworben und stehen als die Begründer der jetzigen Telegraphie da: der Professor Steinheil in München, der Engländer Wheatstone und der Amerikaner Morse. Wir werden auf die Entdeckungen und Erfindungen dieser ausgezeichneten Physiker mehrfach zurückzukommen Gelegenheit haben.

Digitized by Google

Die electrische Telegraphie der Gegenwart.

Wir haben in diesem Abschnitte drei Punkte ins Auge zu fassen: die Erzeugung der electromotorischen Kraft, die Leitung und die Zeichengeber oder die telegraphischen Apparate im engeren Sinne.

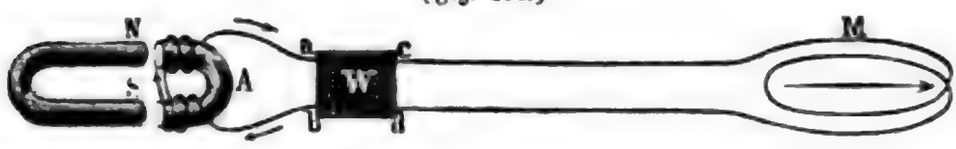
A. Die Erzeugung des electrischen Stromes.

Gauß und Weber bedienten sich zum Telegraphiren, wie schon erwähnt, des Inductionsstromes, welcher dadurch erzeugt wurde, daß eine Drahtspirale auf das Ende eines großen Stahlmagneten aufgestülpt und von demselben abgezogen wurde. Inductionsstrom.

Steinheil hat diese Art der electrischen Erregung mit einer kleinen Abänderung beibehalten. Es ist die wohlfeilste Art, galvanische Ströme zu erregen, da der angewandte Stahlmagnet von seiner Intensität nur sehr wenig verliert.

Betreffs der Entstehung des Inductionsstromes verweisen wir auf das im physikal. Abschnitte S. 222 ff. Gesagte; um die Anwendung dieses Stromes zum Telegraphiren zu verdeutlichen, diene die schematische Fig. 202.

(Fig. 202.)



NS ist ein festliegender Stahlmagnet, A ein mit einem sehr langen und dünnen, gut isolirten Kupferdraht umwickelter Anker von weichem Eisen. Bekanntlich ist weiches Eisen, so lange es sich in der Nähe des Magneten befindet, selbst magnetisch, und zwar steht dem Nordpol N des Stahlmagneten der Südpol des Ankers gegenüber und umgekehrt. Der Anker A kann durch einen Hebel von dem Magneten abgerissen und wieder angesetzt werden. Im Augenblicke des Abreißens hört der Magnetismus des Ankers (ganz oder theilweise) auf und in Folge davon entsteht in dem darum gewickelten Drahte ein Inductionsstrom von äußerst kurzer Dauer, welcher die Richtung der daneben gezeichneten Pfeile hat; ein augenblicklicher Strom von entgegengesetzter Richtung entsteht beim darauf folgenden Wiederansetzen des Ankers.

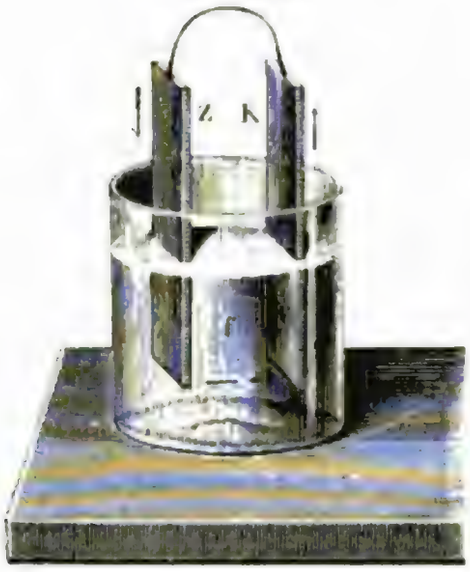
Führen nun die beiden Drähte nach einer entfernten Station, so wird die Magnetnadel eines dort befindlichen Multiplicators M bei jedem Abreißen des Ankers einen Ausschlag geben und bei dem kurz darauf folgenden Wiederansetzen des Ankers nach der entgegengesetzten Seite ausschlagen. Um nun diese Ausschläge nach rechts und nach links beliebig reguliren zu können, ist auf der Abgangsstation bei W ein Stromwender eingeschaltet, d. i. ein Apparat, der so gestellt werden kann, daß entweder a mit c und b mit d, oder so, daß a mit d und b mit c in leitender Verbindung steht.

Derartige Inductionsströme sind gegenwärtig bloß beim Steinheil'schen Nadel-Telegraphen*) und bei dem Stöhrer'schen Zeigertelegraphen in

*) Derselbe wurde 1837 zwischen München und Bogenhausen eingerichtet, war also der erste im Großen ausgeführte, vollkommen brauchbare electrische Telegraph.

Digitized by Google

(Fig. 203.)



Hydro-electrischer Strom.

(Fig 204.)

Anwendung, welche beide nur eine geringe Verbreitung gefunden haben.

Alle übrigen Telegraphensysteme benutzen hydroelectrische Ströme, auf deren Erzeugung wir etwas genauer eingehen müssen.

Bekanntlich wird ein Draht, welcher ein Stück Kupfer K (Fig. 203) und ein Stück Zink Z metallisch berührt, von einem sogenannten galvanischen Strome durchflossen, sobald die beiden Metalle außerdem in eine Flüssigkeit f eintauchen (s. S. 208).

Eine solche Combination aus zwei Metallen mit einer Flüssigkeit, z. B. Wasser, nennt man eine einfache galvanische Kette, mehrere solche Ketten (Elemente) bilden eine galvanische Säule oder Batterie (Fig. 204). Eine solche galvanische Kette hat für den längeren Gebrauch, wie ihn der Telegraphendienst erfordert, den großen Uebelstand, daß die Stromstärke sehr rasch abnimmt. Indem nämlich der Strom durch die Flüssigkeit geht, erleidet das Wasser derselben eine chemische Zersetzung: der Wasserstoff scheidet sich an der Oberfläche des Kupfers aus und überzieht dasselbe; der Sauerstoff tritt zum Zink und bildet auf diesem einen Ueberzug von Zinkoxyd*).

Demnach sind nach kurzer Zeit gar nicht mehr Kupfer und Zink, sondern Wasserstoff und Zinkoxyd mit der Flüssigkeit in Berührung; diese beiden Körper erzeugen aber einen Gegenstrom, welcher eine rasche Abnahme der electromotorischen Kraft zur Folge hat.

Um diese Schwächung des Stromes, hervorgerufen durch die Veränderung der Metalloberflächen, zu vermeiden, wendet man die sogenannten constanten Ketten an, welche nicht aus drei, sondern aus vier verschiedenen Körpern, nämlich aus zwei Metallen und zwei Flüssigkeiten bestehen. Die beiden Metalle sind, wenn die Kette geschlossen ist, durch einen metallischen Leiter in Verbindung, die beiden Flüssigkeiten der constanten Kette berühren einander unmittelbar durch einen porösen Körper, z. B. eine Thierblase oder eine Zelle aus unglasirtem Thon, welche die Erscheinung der Endosmose zeigen (s. S. 61). Der Zweck der constanten Ketten ist: unveränderte Erhaltung der metallischen Oberfläche. Der (positive) Zinkpol der constanten Ketten befindet sich gewöhnlich in verdünnter Schwefelsäure, welche das durch die Abscheidung des Sauerstoffs entstehende Zinkoxyd sofort auflöst. Damit an dem negativen Pole keine Ablagerung von Wasserstoff entstehe, sind nach der Natur dieses Metalles verschiedene Flüssigkeiten in Anwendung gebracht worden.

Constante Ketten.

*) Das Nähere über die chemischen Wirkungen des galvanischen Stromes wird in dem Abschnitte über Galvanoplastik gegeben werden.

Digitized by Google

(Fig. 205.)

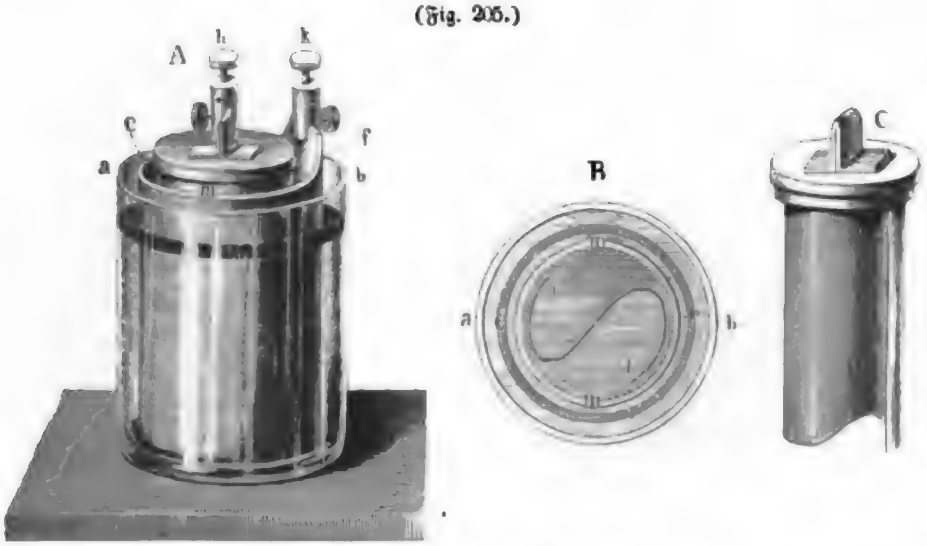
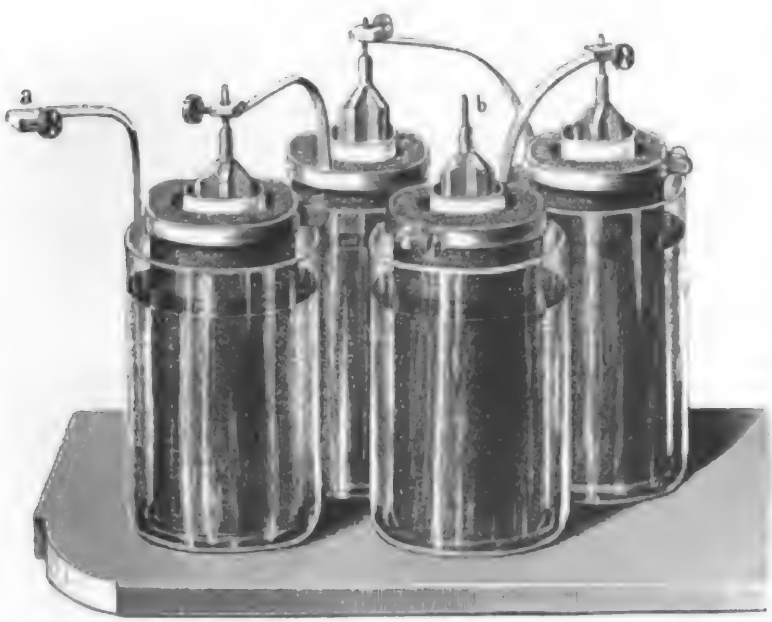


Fig. 205 A gibt die Ansicht einer Grove'schen constanten Kette, B den horizontalen Durchschnitt derselben. In einem Glasgefäße ab steht in verdünnter Schwefelsäure ein Cylinder ef von amalgamirtem (mit Quecksilber überzogenem) Zink. Innerhalb befindet sich eine Zelle mm von unglasirtem Thon, welche mit starker Salpetersäure gefüllt ist und in welche ein Sförmig gebogenes Platinblech il eintaucht. (Dies Blech ist in C für sich abgebildet.) Durch die Klemmschrauben h und k kann ein Metalldraht das Platin und das Zink verbinden, oder die Kette schließen.

Die Grove'sche Kette gibt einen Strom von bedeutender Stärke. Die Salpetersäure, ein heftig oxydirender, d. h. Sauerstoff abgebender Körper, verhindert hier die Ablagerung des Wasserstoffs auf dem Platinblech, indem sie demselben bei seiner Entstehung sofort Sauerstoff zuführt, womit sich derselbe zu Wasser verbindet.

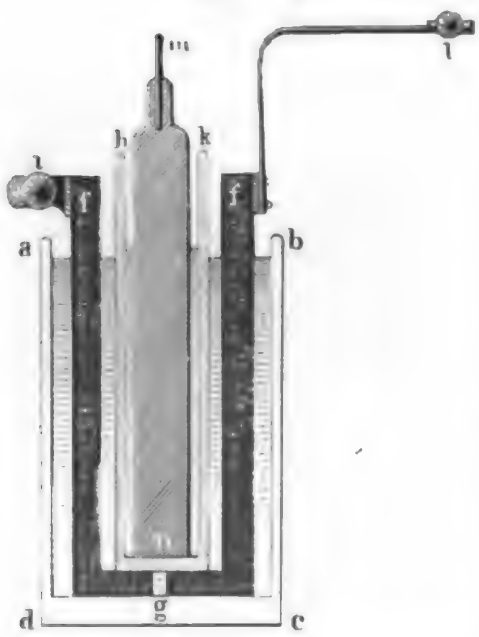
(Fig. 206.)



Auch bei der Bunsen'schen constanten Kette wird zu demselben Zwecke Salpetersäure angewandt. Fig. 206 stellt eine Bunsen'sche Batterie von 4 Elementen dar, Fig. 207 eins dieser Elemente im senkrechten Durchschnitt. Ein Hohlcylinder fgf von

Digitized by Google

(Fig. 207.)



Kohle*) steht in concentrirter Salpetersäure, welche sich in einem Glasgefäße adcb befindet. Innerhalb des Kohlencylinders steht in der Salpetersäure eine mit verdünnter Schwefelsäure gefüllte poröse Thonzelle hk und in dieser ein vierkantiger Zinkblock mn, der oben einen starken Kupferdraht trägt. Um die Verbindung zwischen dem Zink des einen und der Kohle des folgenden Elementes herzustellen, ist um den obern Rand der Kohle ein Metallring mittelst der Schraube i festgeklemmt; dieser trägt einen kupfernen Bügel, welcher mittelst der Schraube l an den Kupferdraht m des nächsten Elements befestigt werden kann. Die Bunsen'sche Batterie Fig. 206 hat bei a den positiven, bei b den negativen Pol.

Die Salpetersäure der Grove'schen und Bunsen'schen Batterie gibt bei ihrer allmählichen Zersetzung einen unangenehm riechenden Dampf von Untersalpetersäure aus, welcher im höchsten Grade zerstörend auf die Umgebung wirkt; dieselbe ist daher zum Telegraphenbetriebe nirgends mehr in Anwendung. Bei den preußischen Staatstelegraphen wendet man Zink-Kohlen-Elemente an, welche die Form der Fig. 208 haben. Die Kohlencylinder sind

(Fig. 208.)

*) Die Bunsen'sche Kohle wird dargestellt, indem man das feingesiebte Pulver von 2 Theilen Koaks und 1 Theil Backkohle in Formen von Blech einstampft und mit diesem etwa $^3/_4$ Stunden lang in einem tüchtigen Kohlenfeuer der Rothglühhitze aussetzt. Die langsam abgekühlten Kohlencylinder können alsdann mit der Feile oder auf der Drehbank bearbeitet werden. Sobald sie hierdurch die richtige Form erlangt haben, werden sie mit Syrup getränkt, in feuerfesten Tiegeln zwischen Holzkohlenpulver verpackt und der Hitze eines Töpfer- oder Porzellanofens ausgesetzt. Die auf solche Art erzeugte Kohle ist sehr hart und ein guter Electricitätsleiter.

Noch härter als die Bunsen'sche Kohle und ein noch besserer Leiter ist der Kohlenstoff, welcher sich bei der Leuchtgasbereitung in den Retorten absetzt.

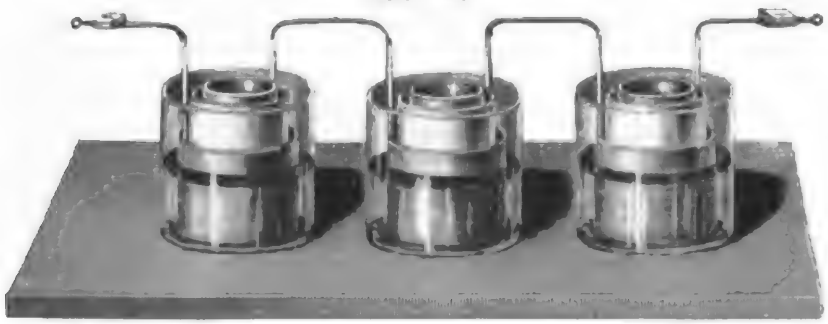
Digitized by Google

beiderseits offen und an ihrer obern Hälfte mit einem Reifen von Blei umgeben, durch welchen die Verbindung mit dem Zink des folgenden Elements vermittelt wird. Kohle und Zink stehen beide in sehr verdünnter Schwefelsäure.

Die für den Betrieb der englischen Nadeltelegraphen angewandte Smee'sche Batterie besteht aus Silber und Zink. Beide Metalle sind durch eine Schicht Sand getrennt, welcher mit verdünnter Schwefelsäure befeuchtet ist. Diese Batterie gibt einen schwachen, aber für den englischen Telegraphen ausreichenden Strom, der zwar nicht ganz constant ist, aber dennoch ziemlich lange anhält.

Bei der Daniell'schen Batterie bestehen die Elemente aus Zink und Kupfer, ersteres befindet sich in verdünnter Schwefelsäure, letzteres in einer Auflösung von Kupfervitriol, welche durch hinein gelegte Krystalle dieses Salzes stets in concentrirtem Zustande erhalten wird. Beide Flüssigkeiten sind durch eine poröse Scheidewand getrennt. Durch den galvanischen Strom wird der Kupfervitriol so zersetzt, daß sich daraus metallisches Kupfer niederschlägt und auf dem Kupferblech des Elementes absetzt. Diese Batterie ist von allen die constanteste und findet im Gegensatz zu allen vorher beschriebenen bei solchen Telegraphen Anwendung, bei denen im Zustande der Ruhe der Strom geschlossen ist. Fig. 209 zeigt drei Daniell'sche Elemente,

(Fig. 209.)



wie sie auf den meisten deutschen Eisenbahnen zum Betrieb der Siemens-Halske'schen Zeigertelegraphen im Gebrauch sind. Die Glasgefäße sind kaum zur Hälfte mit Kupfervitriollösung gefüllt, worin ein dünnes Kupferblech steht. Im Innern desselben steht eine poröse Thonzelle, welche einen Cylinder von dickem Zinkblech in verdünnter Schwefelsäure enthält.

B. Die Leitung.

Durch die galvanische Batterie wird eine electrische Spannung, d. h. eine Trennung der im natürlichen Zustande vereinigten Electricitäten hervorgerufen. Je größer der Abstand der erregenden Metalle in der electrischen Spannungsreihe (die electrische Differenz) und je größer die Anzahl der hintereinandergesetzten Elemente der Batterie ist, desto größer ist die electromotorische Kraft, desto größer das Bestreben nach Wiedervereinigung oder Ausgleichung der durch die Batterie hervorgerufenen Gegensätze. Der aus Metallen oder andern Electricitätsleitern gebildete Weg vom positiven zum negativen Pole der Batterie, auf welchem diese Ausgleichung stattfindet,

Digitized by Google

heißt die Leitung, und die Intensität des Stromes hängt gleichfalls von dem größern oder geringern Widerstande ab, welchen der galvanische Strom auf diesem Wege erfährt.

Ohm'sches Gesetz.

Die Intensität eines galvanischen Stromes ist nach dem Ohm'schen Gesetze der electromotorischen Kraft sämmtlicher in der Kette eingeschalteten Elemente direct, und dem gesammten Leitungswiderstande umgekehrt proportional.

Die verschiedenen Substanzen besitzen eine sehr verschiedene Leitungsfähigkeit für den galvanischen Strom; die Metalle leiten unter allen Körpern am besten, aber auch ihr Leitungsvermögen ist verschieden. Der Leitungswiderstand des Kupfers verhält sich nach Pouillet zu dem des Eisens wie 1 : 6 (genauer wie 17 : 100) und zu dem des reinen Wassers wie 1 : 7000,000000. Wasser, welches Säuren oder Salze aufgelöst enthält, leitet jedoch viel besser.

Leitungswiderstand.

Der Widerstand eines und desselben Leiters ist von seinen Dimensionen abhängig und zwar ist derselbe der Länge des zu durchlaufenden Wegs direct, und dem Querschnitt des Leiters umgekehrt proportional. Demnach leistet beispielsweise ein Draht von 4 Meilen Länge einen viermal so großen Widerstand oder ist ein viermal so schlechter Leiter, als ein Draht von demselben Metall und der gleichen Dicke, der nur eine Meile lang ist, oder den gleichen Widerstand wie ein Draht desselben Metalles von 16 Meilen Länge, welcher den doppelten Durchmesser, also den vierfachen Querschnitt hat. Ferner: ein 17 Fuß langer Eisendraht leistet denselben Widerstand wie ein eben so dicker, 100 Fuß langer Kupferdraht. Soll also ein Eisendraht eben so gut leiten wie ein Kupferdraht von gleicher Länge, so muß der erstere dicker genommen werden; ihre Querschnitte müssen sich wie 100 : 17, also ihre Durchmesser ungefähr wie $2^1/_2$: 1 verhalten.

Für oberirdische Telegraphenleitungen ist das Kupfer jetzt fast überall durch Eisendraht verdrängt worden. Derselbe muß zwar dicker genommen und vor der Oxydation durch einen dünnen Zinküberzug geschützt (galvanisirt) werden; allein dennoch stellt sich eine Eisendrahtleitung viel billiger, zumal da der starke Eisendraht wegen seiner größern Steifigkeit nicht so vieler Stützen bedarf und vermöge seiner größern Festigkeit nicht so leicht durch die sich im Winter anhängenden Schnee- und Eismassen zerrissen werden kann.

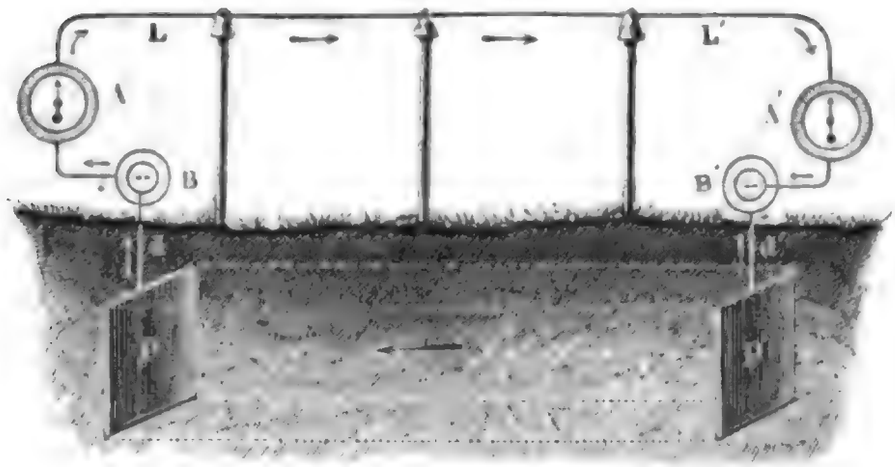
Erdleitung.

Durch Vergrößerung des Querschnitts der Leitung ist man im Stande, die Stromstärke bedeutend zu vermehren; auch ein schlechter Electricitätsleiter, z. B. das Wasser des feuchten Erdreichs, kann als Leitung benutzt werden und möglicherweise sogar einen viel geringern Leitungswiderstand bieten, als ein Kupferdraht, sofern nur für einen hinreichend großen Querschnitt gesorgt wird. Dies geschieht dadurch, daß die Drahtleitung in große Metallplatten endigt, welche in das Grundwasser eingesenkt werden.

Hierauf beruht die sogenannte Erdleitung, eine der wichtigsten, zuerst von Steinheil gemachten Anwendungen des Ohm'schen Gesetzes, durch welche die Anlagekosten sämmtlicher Telegraphen fast auf die Hälfte reducirt worden sind. Fig. 210 möge zur Erläuterung derselben dienen. Auf zwei mit einander correspondirenden Stationen sind die Batterien B und B' so aufgestellt, daß sie einen Strom in der durch die beigezeichneten Pfeile angedeuteten Richtung erzeugen. Der durch die Luft ausgespannte Metalldraht LL' geht vom positiven Pole der Batterie B nach dem telegraphischen Apparat A, der negative Pol ist durch den Draht d mit der etwa 25 Quadratfuß großen Metallplatte P verbunden, welche in das Grundwasser des Ortes eingesenkt

Digitized by Google

(Fig. 210.)



ist. Von A aus geht der Draht über die Telegraphenstangen nach dem Zeichengeber A′ der andern Station und durch diesen nach dem negativen Pole der dort aufgestellten Batterie B′, deren positiver Pol mit der andern Erdplatte P′ verbunden ist. Die Zeichengeber A und A′ sind so eingerichtet, daß daselbst die metallische Leitung leicht unterbrochen und geschlossen werden kann. Wird dieselbe nun in A unterbrochen, so kann kein Strom circuliren, und das Aufhören desselben zeigt sich auch in A′; wird durch den Zeichengeber A die metallische Verbindung wieder hergestellt, so wird der Strom geschlossen und der Draht auch in A′ electrisch.

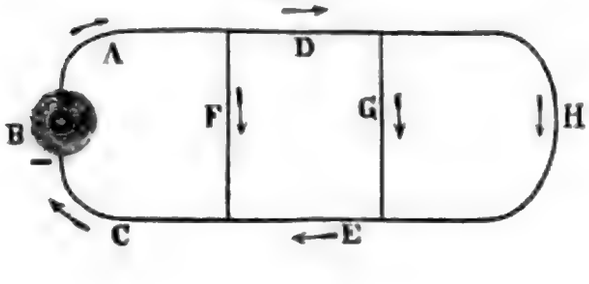
Es steht sowohl theoretisch als durch die Erfahrung fest, daß ein electrischer Strom, wenn er seinen Weg auch durch noch so verschiedenartige Leiter nimmt, dennoch an allen Stellen der Leitung, mögen dieselben nahe an der Electricitätsquelle oder noch so weit davon entfernt sein, die gleiche Kraft zeigt; tritt an irgend einer Stelle der Leitung eine Aenderung der electrischen Spannung, eine Zu- oder Abnahme der electromotorischen Kraft oder eine Aenderung des Leitungswiderstandes ein, so erfolgt in allen Theilen der Leitung eine gleichmäßige Aenderung der Stromstärke; wird an *einer* Stelle die Leitung unterbrochen, gleichviel wo, so hört *überall* der Strom auf. Wird irgendwo statt eines schlechteren ein besserer Leiter eingeschoben, so zeigt sich in jedem Punkte der Leitung die gleiche Zunahme der Intensität.

Die Erfahrung hat gelehrt, daß die Erdleitung einen weit geringeren Widerstand bietet, als der früher gebräuchliche zweite Metalldraht. Es wird also nicht allein dieser, sondern auch ein Theil der electromotorischen Kraft gespart, indem man mit einer geringeren Anzahl Elemente arbeiten kann.

Eine wesentliche Bedingung für electrische Leitungen ist die möglichst vollkommene *Isolirung* der Hin- und Zurückleitung. Denn wenn von den Polen einer Batterie B (Fig. 211) zwei Drähte AD und CE nach H gehen, so wird dort eine bedeutende Schwächung der Stromstärke eintreten, sobald die beiden Leitungsdrähte auf irgend eine Weise, z. B. durch die Querdrähte F und G in leitende Verbindung gesetzt werden. Die electrische Ausgleichung findet in einer

Isolirung.

(Fig. 211.)

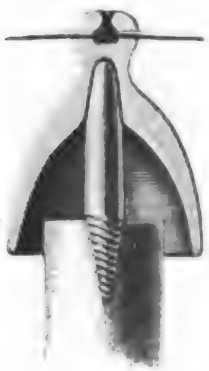


verzweigten Leitung ganz nach Maßgabe des Widerstandes statt, also im Allgemeinen auf dem kürzesten Wege, weil hier der geringste Widerstand zu überwinden ist. Im vorliegenden Falle wird also nicht der ganze in A vorhandene Strom nach D gelangen, sondern ein Theil wird den Weg AFC wählen, ebenso kann nicht alle Electricität, die durch D geht, bis H gelangen; es tritt eine neue Theilung des Stromes ein, indem ein Theil durch G geht. Nehmen wir an, daß F und G aus ebenso gut leitendem Draht bestehen, wie die übrige Leitung, so werden die Stromintensitäten in F, G und H sich umgekehrt verhalten, wie die zurückgelegten Wege AFC, ADGEC und ADHEC.

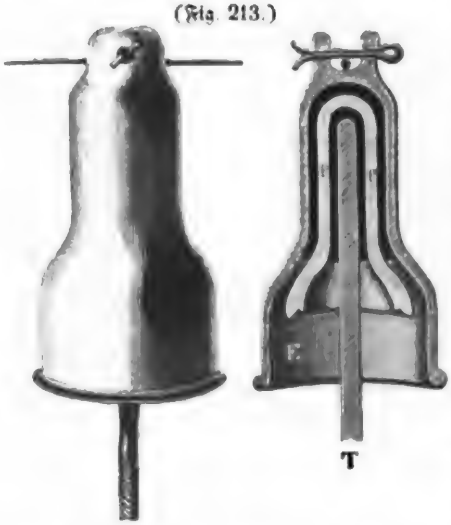
Oberirdische Leitung.

Eine absolute Isolirung der oberirdischen Telegraphendrähte ist nicht möglich, da selbst die feuchte Luft, wenn auch nur in geringem Grade, die Electricität leitet; die kritischen Punkte für oberirdische Leitungen sind die Stellen, an denen der Draht auf den Stützen aufliegt. Wenn man denselben, wie es zuerst geschah, um das Holz der Stützen wickelt, so ist die Schwächung des Stromes durch die Nebenschließungen besonders bei Regenwetter so bedeutend, daß auf größere Strecken nicht mehr telegraphirt werden kann. Man pflegt jetzt den Draht auf Hütchen von Porzellan oder Glas zu befestigen, welche durch ihre dachartige Form die leitende Vermittlung des Regenwassers verhindern. Ein solches Hütchen ist Fig. 212 im Durchschnitt dargestellt. Die Zerbrechlichkeit dieser Isolirhütchen hat jedoch darauf geführt, die Construction zu wählen, von welcher Figur 213 eine Ansicht und einen Durchschnitt gibt. Auf dem eisernen Träger T ist zuerst ein Porzellanhütchen P und auf dieses ein eisernes Hütchen E aufgekittet, welches als Dach dient und auf seiner Spitze den Telegraphendraht trägt. Die Art der Befestigung des letzteren mittelst einer eingeschobenen Drahtschleife ist aus der Figur ersichtlich.

(Fig. 212.)



(Fig. 213.)



Unterirdische Leitung.

Da oberirdische Leitungen sehr leicht der Beschädigung unterliegen, theils durch Muthwillen und Bosheit, theils durch atmosphärische Einflüsse, so dachte man daran, alle Telegraphendrähte unter der Erde durchzuführen. Dieselben wurden mit der nicht leitenden Gutta-Percha überzogen und etwa zwei Fuß tief eingegraben. Die Nachtheile, besonders die Unmöglichkeit einer vollkommnen Isolirung und die große Schwierigkeit, eine beschädigte Stelle aufzufinden, haben darauf geführt, diese unterirdischen Leitungen für größere Strecken wieder aufzugeben. Da die Gutta-Percha von den Ratten angenagt wird, so ist man bei den Telegraphenleitungen innerhalb der Städte, wo eine oberirdische Leitung unmöglich ist, genöthigt, die mit Gutta-Percha überzogenen Kupferdrähte nochmals mit Blei zu überziehen oder in Thon-

Digitized by Google

röhren einzuschließen. Im Uebrigen ist man für größere Leitungen zur oberirdischen Führung des Drahtes allgemein zurückgekehrt, und hat also Mittel finden müssen, die schädlichen atmosphärischen Einflüsse zu verhindern.

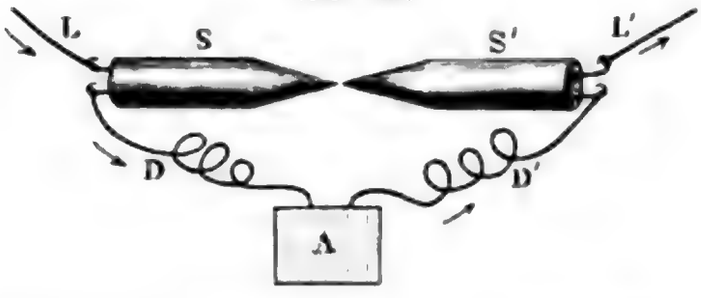
Einfluß der Gewitter.

Unter diesen stehen die der atmosphärischen Electricität in erster Reihe*). Die Leitungsdrähte bieten derselben häufig eine willkommene Gelegenheit zur Ausgleichung. Wenn diese Electricität, wie bei Gewittern, eine große Spannung besitzt, so erreicht der in dem Telegraphendrahte erregte Strom leicht eine solche Intensität, daß die Anker der Electromagneten angezogen, die Läutewerke (s. u.) ausgelöst und andere Unregelmäßigkeiten hervorgerufen werden. Bei größerer Intensität springen an den Leitungsdrähten Funken über und die dünnen Drähte der Telegraphenapparate werden geschmolzen oder verbrannt; die stärkste electrische Entladung, der Blitz, kann und wird vorzugsweise von den Leitungsdrähten angezogen werden, also die Telegraphenlokale am meisten gefährden.

Blitzableiter.

Diese Uebelstände und Gefahren werden durch die telegraphischen Blitzableiter beseitigt. Die atmosphärische Electricität hat mit der durch Reibung hervorgerufenen eine sehr hohe Spannung und demzufolge eine große Schlagweite gemein. Während die galvanische Electricität vermöge ihrer geringen Spannung eine ununterbrochene Verbindung der besten Leiter erfordert und dem feinsten Metalldrahte in allen Krümmungen und Windungen folgt, durchbricht die atmosphärische Electricität mit Leichtigkeit schlechte Leiter, z. B. Luft, auf große Entfernungen und zeigt überhaupt mehr Neigung den kürzeren Weg zu wählen, als den besseren Leiter. Hierauf beruhen die Blitzableiter, welche man in den Draht oberirdischer Leitungen zum Schutz der Telegraphen-Apparate, Wärterhäuschen u. s. w. einschaltet.

(Fig. 214.)



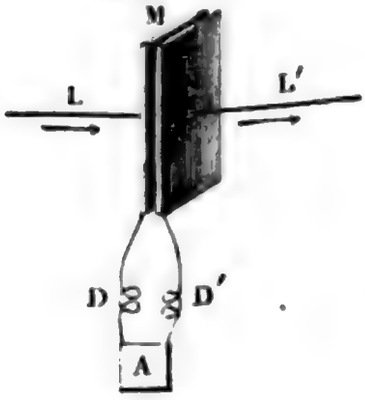
Der Leitungsdrath L (Fig. 214) endet in die Spitze S aus blankem Metall, welcher eine gleiche Spitze S' dicht gegenüber steht, ohne dieselbe zu berühren. Von beiden Spitzen gehen außerdem die feinen Drähte D und D' aus, welche nach dem Telegraphenapparat A führen. Der galvanische Strom nimmt den Weg L S D A D' S' L', die atmosphärische Electricität dagegen durchbricht leicht die Luftschicht zwischen S und S', ohne durch den Apparat zu gehen.

Noch besser als durch Spitzen hat sich die Abgleichung der atmosphärischen Electricität durch große einander nahe gegenüber gestellte Metallplatten bewährt. Der Leitungsdraht L (Fig. 215) endigt in die Metallplatte M, L' in die Metallplatte N, welche der vorigen sehr nahe gegenüber steht. Dieser Blitzableiter ist so wirksam, daß der magnetisirende Einfluß der Gewitter und die dadurch entspringenden Unregelmäßigkeiten selbst bei den feinsten Telegraphenapparaten gänzlich aufgehoben werden, indem die atmosphärische Elec-

*) Man war zu der Befürchtung geneigt, die große Menge der auf weite Strecken durch die Luft gezogenen Metalldrähte möchte eine solche Abgleichung der electrischen Spannung hervorrufen, daß Gewitter, wenigstens starke Gewitter gar nicht mehr vorkommen könnten — eine Befürchtung, welche durch die Erfahrung der letzten Jahre sich als vollkommen grundlos herausgestellt hat.

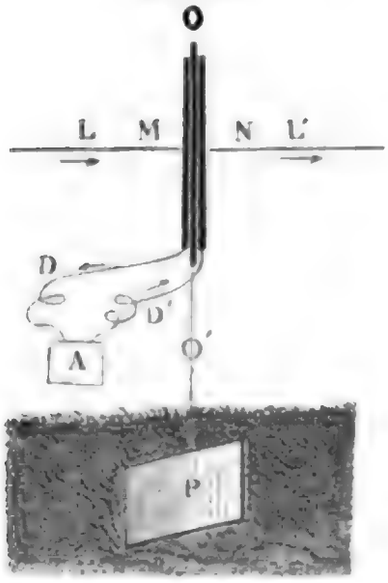
Digitized by Google

(Fig. 215.)



tricität sogleich von einer Platte auf die andere übergeht. Die Apparate sind in solchem Falle zwar vollständig geschützt, allein die Gefahr der Schmelzung des starken Leitungsdrahtes bei einer hinreichend starken atmosphärischen Entladung ist damit noch nicht aufgehoben. Um diese zu beseitigen, setzt man zwischen die (Fig. 216) schematisch im Durchschnitt gezeichneten Platten M und N noch eine dritte Metallplatte O, welche durch einen oder mehrere sehr starke Drähte O′ mit der Erdplatte P verbunden ist. Hierdurch wird die atmosphärische Electricität nach der feuchten Erde abgeleitet. Dieser sinnreiche Blitzableiter ist gleichfalls von dem um die electrische Telegraphie hochverdienten Professor Steinheil angegeben.

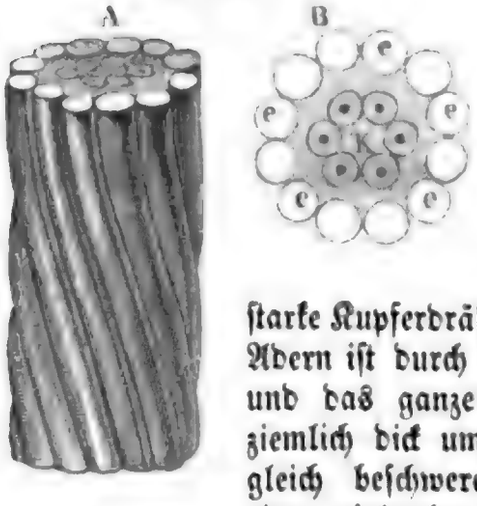
(Fig. 216.)



Submarine Leitung.

Besondere Schwierigkeiten bietet die sichere und dauerhafte Construction der Leitungen da, wo die Telegraphenlinien Flüsse, Seeen und Meeresarme durchschneiden. Man pflegt seit einigen Jahren den mit einem isolirenden und schützenden Ueberzuge versehenen Leitungsdraht von einem Ufer zum andern auf den Boden des Bettes zu versenken. Fig. 217 A zeigt die Ansicht, B den Durchschnitt des Leitungstaues, welches in zwei Stücken von 110 und 140 engl. Meilen in London angefertigt wurde, um durch das mittelländische Meer von Spezzia, auf der Insel Corsica, durch die Straße von St. Bonifacio und vom Kap Spartarento an der Südspitze von Sardinien nach der afrikanischen Küste bei Bona gelegt zu werden, und so die direkte telegraphische Verbindung zwischen Paris und Algier zu vermitteln. Dies Tau enthält 6 mit einem starken Ueberzug von Gutta-Percha versehene $^1/_{16}$ Zoll starke Kupferdrähte; der Kern K zwischen den Gutta-Percha-Adern ist durch eine Trense aus getheertem Hanf ausgefüllt und das ganze Bündel mit eben solchem getheerten Hanf ziemlich dick umsponnen. Die äußere schützende und zugleich beschwerende Hülle bilden 12 starke Eisendrähte oder vielmehr dünne Eisenstangen e. Der Durchmesser des ganzes Taues ist $1^1/_2$ Zoll, das Gesammtgewicht desselben beträgt ungefähr 40,000 Zoll-Centner *).

(Fig. 217.)

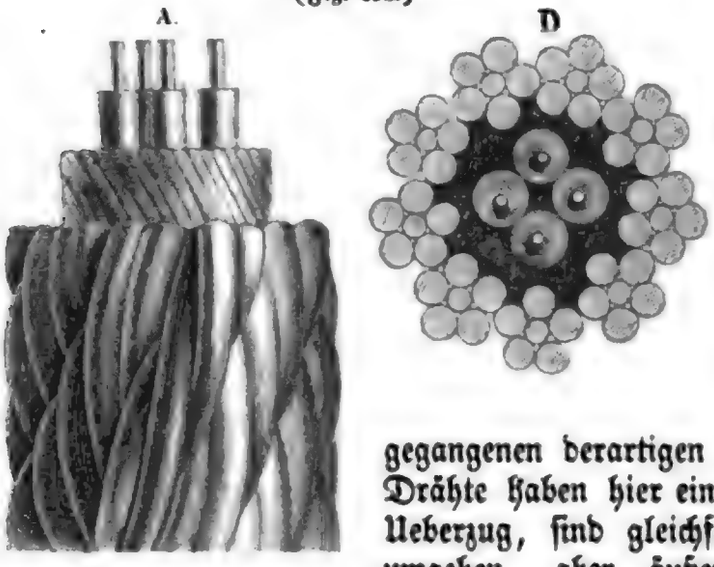


*) Die Legung der letzten und größten submarinen Strecke dieser Leitung, von der Südspitze Sardiniens nach Bona, ist jetzt bereits zum zweiten Male verunglückt; das 175 engl. Meilen lange Tau zeigte sich zu kurz und mußte wegen eintretenden Sturmes gekappt werden.

Digitized by Google

Aus ähnlichen Tauen bestehen die submarinen Leitungen, welche England mit dem Continente, und Schottland mit Irland verbinden, die durch den großen und kleinen Belt, so wie die Leitung, welche hoffentlich noch im Laufe dieses Jahres Europa mit Amerika verbinden wird. In der Nähe der Ufer werden diese Seile durch aufgeschobene gußeiserne Panzer noch mehr gesichert. Zur Durchschneidung schiffbarer Flüsse werden Seile von größerer Biegsamkeit, Dauerhaftigkeit und Sicherheit gegen die Beschädigungen durch Strömung, Eisgang, schleppende Schiffsanker u. s. w. benutzt. Fig. 218 A giebt die Ansicht, D den Durchschnitt eines aus der Fabrik der Herren Felten und Guilleaume in Köln hervorgegangenen derartigen Telegraphen-Taues. Die Drähte haben hier einen doppelten Gutta-Percha-Ueberzug, sind gleichfalls mit getheertem Hanf umgeben, aber äußerlich nicht mit einzelnen starken Drähten, sondern mit Litzen aus 6 zusammengedrehten Drähten von galvanisirtem Eisen umsponnen.

(Fig. 218.)



c. Die Zeichengeber.

Die Zeichengeber oder Telegraphen im engeren Sinne haben seit Gauß' und Weber's Entdeckung eine so großartige und vielseitige Ausbildung erlangt und sind in einer so raschen Fortentwickelung begriffen, daß wir uns in diesem Abschnitte darauf beschränken müssen, nur einige der verbreitetsten Telegraphensysteme genauer zu beschreiben.

Sämmtliche electrische Telegraphen der Jetztzeit lassen sich nach der benutzten Wirkung des electrischen Stromes unter drei Rubriken bringen; man läßt nämlich den Strom einwirken:

1. entweder auf constante Magneten (Stahlmagneten), wie bei den Nadeltelegraphen;
2. oder auf weiches Eisen, welches durch denselben temporär magnetisch wird; dies ist der Fall bei den rotirenden oder Zeigertelegraphen, und bei den meisten Drucktelegraphen;
3. oder endlich auf eine chemische Verbindung, welche dadurch zersetzt wird, wie bei den chemischen Telegraphen.

1. Nadeltelegraphen.

Dieselben beruhen auf der Ablenkung eines beweglichen Stahlmagneten durch den galvanischen Strom (s. S. 212. f.); die Wirkung des letzteren wird dadurch verstärkt, daß man dem Leitungsdraht die Form des Multiplicators gibt.

Den vollkommensten Nadeltelegraphen, welcher auch zugleich die Depesche aufschreibt und durch Glockenschläge die Signale hörbar macht, construirte in Verfolgung der Gauß'schen Idee der Professor Steinheil in

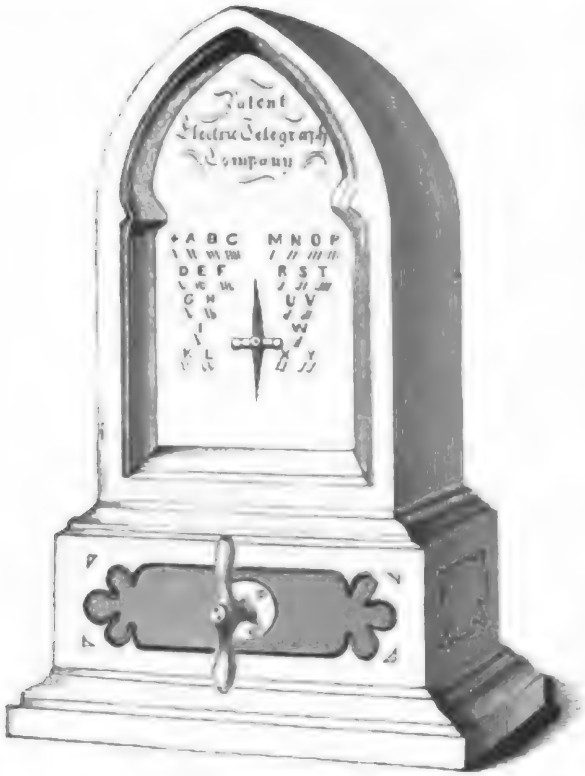
Digitized by Google

München bereits 1837. Der Steinheil'sche Telegraph, der unter allen Telegraphen die geringsten Anlage- und Unterhaltungskosten erfordert, ist von keinem der später construirten Nadeltelegraphen erreicht worden; gleichwohl hat derselbe keine weitere Verbreitung gefunden und ist demnach für die Telegraphie der Gegenwart von untergeordneter Bedeutung. Wir wählen daher den englischen Nadeltelegraphen.

Einfacher Nadel-Telegraph.

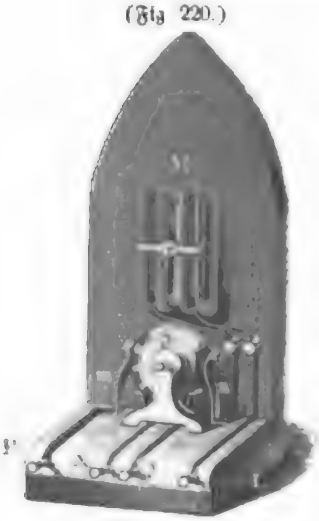
Wheatstone und Cooke ließen sich 1837 einen Nadeltelegraphen patentiren, welcher 5 Magnetnadeln enthielt und 6 Leitungsdrähte erforderte. Aus diesem sind durch Vereinfachung nach und nach die jetzt in England fast allgemein gebräuchlichen Nadeltelegraphen entstanden.

(Fig. 219.)



Der einfache Nadeltelegraph Fig. 219 schließt sich ganz eng an die Gauß'sche Idee an, indem durch verabredete Combinationen von Ablenkungen einer Magnetnadel die einzelnen Zeichen signalisirt werden. Doch unterscheidet er sich durch die Anwendung hydroelectrischer Ströme, durch die aufrechte Stellung des Multiplicators, welche das Ablesen erleichtert, und besonders durch die sinnreiche Einrichtung des Schlüssels, durch welche die Manipulation des Telegraphirens sehr vereinfacht ist.

(Fig 220.)



Die innere Einrichtung dieses Telegraphen ist aus Fig. 220 ersichtlich. M ist ein vertical stehender Multiplicator von vielen Umwindungen, zwischen denen eine Magnetnadel in ihrer Ruhelage senkrecht hängt. Nach Art der Schweigger'schen Doppelnadel (Fig. 176, S. 215) ist an derselben, durch die Vorderwand des Schränkchens gehenden Axe eine zweite Magnetnadel mit umgekehrter Stellung der Pole befestigt, welche zugleich als Zeiger dient. (S. Fig. 219.) An dem unteren Theile der Vorderseite ist ein Griff angebracht, mittelst dessen eine kreisförmige Scheibe S (Fig. 220), der s. g. Schlüssel, innerhalb gewisser durch Aufhälter bestimmter Grenzen um etwa 30 Grade nach rechts und eben so weit nach links gedreht werden kann.

Digitized by Google

Eintheilt und die Distanz zwischen ihnen und dem Centrum eine solche sind, dass, wenn man durch benachbarte die Kreise Kanonlinien so zu den übrigen eingezeichneten Kanonen eine Berührung erleiden, welche der Drehung des Cylinders günstig ist.

Ein drei gekröpfter, einige Hand hoher schmiedeiser Figur 291 ruhender

werden. G bezeichnet den Wirbel, mittelst welchen eine belgische Drahtsaite oder Darmsaite gestrichen werden kann. Die drei Wirbeln seiner Klaviatur sind: Mittelstück a, b, c, d, e, f, g eingetheilt, deren jedem gegen die benachbarten Mittelstücken um eine Quinte höher oder tiefer ist, als jedem der beiden Mittelstücken, die ihm seine einzelnen nicht berühren, in derselben Richtung. Gegen den Umfang des Cylinders berühren sie besondere Mittelstücke: a, ff und den zweiten, c und seine nächsten Theile des Umfangs, b, e, g und der Cylinder F, und a mit dem Mittelstücke H verbunden, und seiner nächsten Theile des Umfangs, d und seine nächsten Theile.

Einen der Wirbeln seiner Klaviatur berührt jeder, in der Figur Einen verbunden, weil a und c und f, (Fig. 291 fehlt) mit den Wirbeln berühren jedesmal. Diese Anzeige von Theil gebracht, so kommen sie bei den Tasten a und c und d. Wenn Tasten und nicht Wirbeln sie Mittelstücke, a, b, c, d, e, f, g, a, b, c, d, e, f, g, a, b, c, d, e, f, g

in gleicher Richtung, und zwar so, daß die Nadeln nach links gedreht werden. Wird dagegen der Griff G′ nach rechts gedreht, so ist der Weg des Stromes: +B′, x′, b′, a′, n′, M′, L, M, n, a, b, c, m, P, P′, m′, g′, f′, y′, B′—; folglich geht er durch beide Multiplicatoren in entgegengesetzter Richtung und dreht dem entsprechend die Nadeln nach rechts.

Wie man sieht, muß derjenige Apparat, welcher die Depesche empfängt, in der Ruhelage stehen.

Die Combinationen der Ausschläge nach rechts und links, durch welche die einzelnen Buchstaben bezeichnet werden, sind auf der Vorderwand des Telegraphen Fig. 219 angedeutet. Die Striche \ bezeichnen die Ausschläge des obern Nadelendes nach links, / nach rechts. So wird O durch 3 Ausschläge nach rechts, A durch 2 Schläge nach links bezeichnet. Die kurzen Striche, welche ein zusammengesetztes Zeichen enthält, werden immer zuerst signalisirt, z. B. D = rechts, links; S = links, rechts, rechts; H = rechts rechts, links, links; K = links, rechts, links; W = links, links, links, rechts u. s. w. Die Buchstaben sind stets auf derjenigen Seite zu suchen, welche durch den letzten Ausschlag der Nadel angegeben wird. Zwischen je 2 Buchstaben wird eine kleine Pause gemacht; das Ende eines Wortes wird durch das Schlußzeichen + angezeigt.

Da die Buchstaben meist aus 3 bis 4 einzelnen Ausschlägen bestehen, so geht das Telegraphiren ziemlich langsam, und erfordert viel Uebung, besonders aber das Ablesen.

(Fig. 222.)

Doppelnadel-Telegraph.

Eine weit größere Schnelligkeit des Signalisirens, und viel leichteres Ablesen ist beim Doppelnadel-Telegraphen, Fig. 222 möglich, welcher den vorher beschriebenen fast überall verdrängt hat. Der Apparat ist nichts weiter als die Combination zweier einfachen Nadeltelegraphen. Das Signalisiren und Ablesen ist dadurch viel übersichtlicher, daß die Buchstaben in 3 Gruppen getheilt sind; die Buchstaben oben links werden mit dem oberen Ende der linken Nadel, die oben rechts mit dem oberen Ende der rechten Nadel bezeichnet, die untere Gruppe endlich durch die parallele Bewegung beider Nadeln.

Digitized by Google

Linke Nadel.			Rechte Nadel.			Beide Nadeln.		
+ Schlußzeichen	=	\	H(4)	=	\	R(8)	=	//
A	=	\\	I	=	\\	S	=	// //
B	=	\\\	K	=	\\\	T	=	// ///
C(1)	=	/\	L(5)	=	/\	U(9)	=	\\ //
D(2)	=	\/	M(6)	=	\/	V(0)	=	//\
E(3)	=	/	N(7)	=	/	W	=	\\
F	=	//	O	=	//	X	=	\\\
G	=	///	P	=	///	Y	=	\\\\

Die Zahlen werden durch dieselben Zeichen signalisirt wie die Buchstaben C, D, E, H, L, M, N, R, U, V; um den Uebergang von der Buchstabenschrift zu den Zahlen anzuzeigen, werden die Zeichen + H + telegraphirt. Wenn ein Wort zu Ende ist, wird das Schlußzeichen + gemacht; der Empfänger der Depesche telegraphirt dann sogleich zurück: E, wenn er das Wort „verstanden", + wenn er es „nicht verstanden" hat; im letzteren Falle muß dasselbe also wiederholt werden. Das Signal „Warte" (+R+) wird gegeben, wenn der Empfänger eben keine Zeit hat, die Depesche entgegen zu nehmen; ist derselbe dazu bereit, so giebt er das Signal „Geh weiter" (+W+).

Die Nadeltelegraphen bieten vor den übrigen telegraphischen Systemen den Vortheil großer Schnelligkeit; bei hinreichender Uebung können bis 80 Buchstaben in der Minute gegeben und richtig abgelesen werden. Eine bedeutende Abkürzung kann noch dadurch eintreten, daß der Empfänger oft aus wenigen, ja aus einem Buchstaben das ganze Wort erkennt und nun sofort das Zeichen „Verstanden" gibt, worauf der Absender der Depesche sofort, ohne erst dies Wort fertig zu buchstabiren, zum folgenden übergeht. Das Hin- und Hertelegraphiren erlangt dadurch den Charakter der Unterredung. Die Nadeltelegraphen erfordern ferner unter allen Systemen die geringste electromotorische Kraft.

Andrerseits sind aber auch gewichtige Nachtheile dieses Systems nicht zu verkennen. Einmal müssen die Telegraphisten im Zeichengeben sowohl, als besonders im Ablesen sehr geübt sein, wenn das Telegraphiren rasch gehen soll; aber auch der Geübteste ist nicht jederzeit zur lebendigen und raschen Auffassung gleich gut gestimmt, und daher kommen bei den Nadeltelegraphen, welche eine sehr scharfe Aufmerksamkeit erfordern, leicht Irrthümer vor. Diese Unsicherheit ist aber der größte Fehler, welchen ein Telegraphensystem haben kann. Um sicher zu gehen, läßt man wichtige Depeschen nochmals zurück telegraphiren, wodurch aber die oben gerühmte Schnelligkeit der Nadeltelegraphen illusorisch wird. Endlich hat der Doppelnadel-Telegraph zwei Leitungsdrähte nöthig, wodurch die Anlagekosten sich bedeutend höher stellen, als bei jedem andern System.

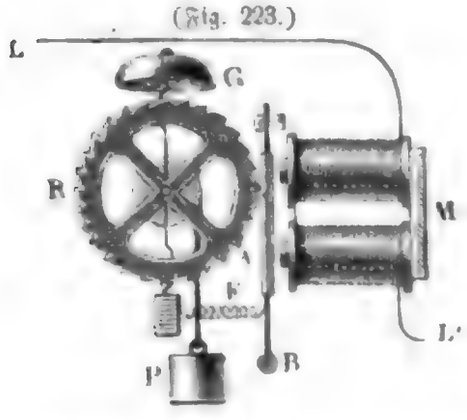
Einige wesentliche Verbesserungen des Wheatstone-Cooke'schen Nadeltelegraphen sind von Bain angegeben worden und sowohl in England als auf einigen österreichischen Bahnen in Anwendung. Da das Prinzip wesentlich dasselbe ist, so übergehen wir diesen Telegraphen.

Alarm. Da die Nadeltelegraphen beim Arbeiten kein hörbares Geräusch hervorbringen, so bedürfen sie einer Alarmvorrichtung oder eines Weckers, um den Empfänger der Depesche aufmerksam zu machen. Hierzu dienen sehr verschiedene Vorrichtungen. Man kann durch den galvanischen Strom ein weiches Eisen abwechselnd magnetisch und durch Aufhören des Stromes dasselbe un-

Digitized by Google

magnetisch machen, ein in der Nähe befindlicher Stab von weichem Eisen (ein s. g. Anker) wird dann durch die magnetische Anziehung in Bewegung gesetzt werden und einen Schlag auf die Glocke thun. Da jedoch die durch sehr lange Drähte geleiteten Ströme selten die genügende Stärke besitzen, um so kräftige Bewegungen hervorzubringen, so wendet man den Strom gewöhnlich nur an, um ein kleines Weckerwerk, welches wie bei den gewöhnlichen Weckeruhren durch ein Gewicht oder eine Feder getrieben wird, auszulösen. Fig. 223 gibt eine derartige Alarmvorrichtung einfachster Construction. So lange durch den Leitungsdraht LL′ kein galvanischer Strom geht, wird der eiserne Anker A, der um den Punkt B drehbar ist, durch die Feder F so angezogen, daß er das Rad R mittelst eines Vorsprunges hemmt; geht aber durch LL′ ein Strom, so wird das vielfach mit Leitungsdraht umwundene Eisen M magnetisch und zieht den Anker A an; dieser hört auf das Rad R zu hemmen, dasselbe wird nun durch das Gewicht P umgedreht und dadurch die Glocke G so lange angeschlagen, bis der Strom aufhört und die Feder F wieder das Uebergewicht erlangt.

(Fig. 223.)



2. Die Zeigertelegraphen.

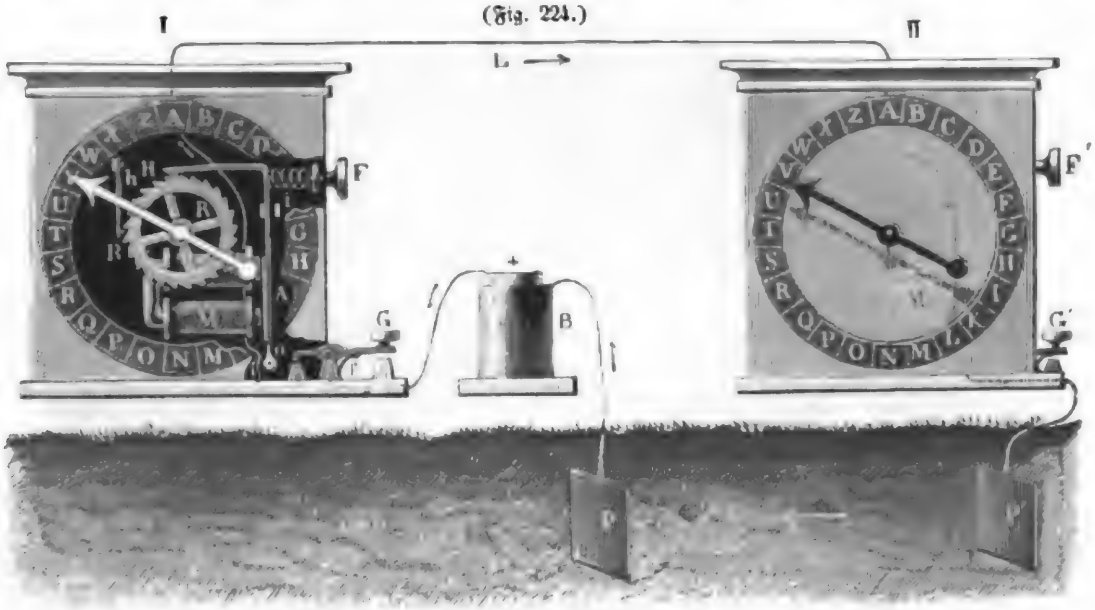
Diese Klasse umfaßt eine große Anzahl der verschiedenartigsten und complicirtesten Apparate. Sie stimmen darin überein, daß ein Zeiger sich auf einem mit den Buchstaben und Zahlen besetzten Kreise herumdreht nnd von der entfernten Station aus willkürlich vor jedem dieser einzelnen Zeichen angehalten werden kann. Diese Art zu telegraphiren, wo der betreffende Buchstab direkt gezeigt wird, hat vor dem Signalisiren mit dem Nadeltelegraphen den entschiedenen Vortheil, daß weder das Geben noch das Ablesen der Zeichen eine besondere Uebung oder Verabredung verlangt; sie hat also hauptsächlich bei Eisenbahnen und allen derartigen Einrichtungen, wo keine besonderen Telegraphisten angestellt werden können, Eingang gefunden.

So einfach bei diesem System die Manipulation des Telegraphirens, so leicht das Ablesen der gegebenen Zeichen ist, so große Schwierigkeit macht es, vollkommene Gleichmäßigkeit des Ganges, fortdauernde Uebereinstimmung der Zeiger aller verbundenen Apparate mit der erforderlichen Schnelligkeit zu verbinden. Auf keinen Zweig der electrischen Telegraphie ist so viel Scharfsinn verwandt, in keinem sind so bewundernswürdige Resultate erlangt worden, besonders von deutschen Erfindern, wie Siemens und Halske, Kramer, Stöhrer, Leonhard, Drescher u. A. In der Complication der hieher gehörigen Apparate liegt zugleich der Grund, weßhalb dieselben mit größter Schonung und Vorsicht behandelt werden müssen; je complicirter ein Apparat construirt ist, desto schwieriger ist es, die Ursache einer etwa eingetretenen Störung zu erkennen und zu beseitigen. Dieser Umstand ist es hauptsächlich, welcher der Verbreitung der Zeigertelegraphen in den letzten Jahren entgegengetreten ist; überall werden dieselben nach und nach von den Drucktelegraphen verdrängt. Da wir einen Ueberblick über die Telegraphie der Gegenwart geben wollen, so müssen wir uns darauf beschränken, von dieser in

Digitized by Google

technischer Beziehung interessantesten Klasse der Telegraphen nur so viel zu geben, als zum allgemeinen Verständniß nöthig ist. Fig. 224 zeigt die Com=

(Fig. 224.)

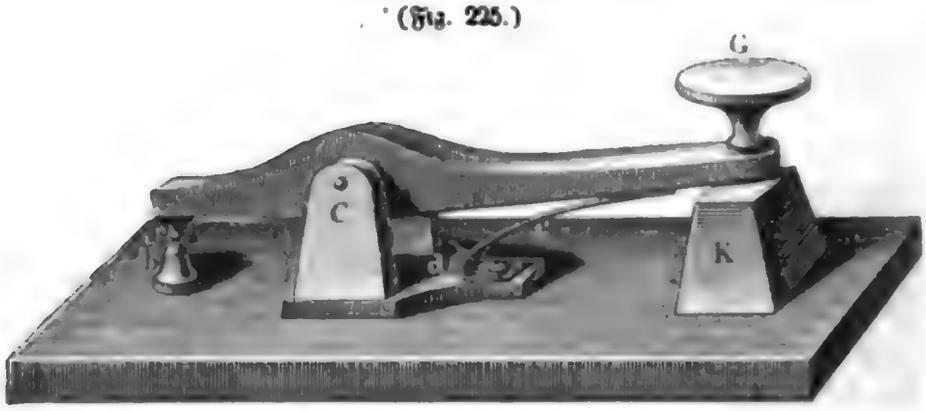


bination zweier ganz einfachen Zeigertelegraphen, wovon der eine durchsichtig gezeichnet ist, um die innere Einrichtung sichtbar zu machen, welche bei beiden ganz gleich ist. Vor dem festen Electromagneten M befindet sich der um den Punkt O bewegliche Anker A, welcher an seinem oberen Ende einen horizontalen, leicht federnden Arm mit einem kleinen Haken H trägt, der in das gezahnte Rädchen R eingreift. So lange ein galvanischer Strom um das weiche Eisen des Electromagneten kreist, wird der Anker angezogen und behält die Stellung bei, in welcher er Fig. 224 gezeichnet ist; wird der Strom unterbrochen, so hört der Magnetismus auf, und der Anker wird durch die Abreißfeder F nach rechts gezogen. Die Grenzen dieser Bewegung sind durch Aufhälter bei i so regulirt, daß der Haken beim Anziehen des Electromagneten jedesmal über und hinter einen Zahn des Rädchens R greift, und beim Anziehen der Abreißfeder dasselbe um einen Zahn nach rechts weiter rückt. Durch den Haken h wird die rückgängige Bewegung des Rades verhindert. Da die Anzahl der Zähne der Anzahl der auf dem großen Kreise verzeichneten Buchstaben entspricht, so geht bei jeder Unterbrechung des galvanischen Stromes der auf der Axe des gezahnten Rades befestigte Zeiger um einen Buchstaben weiter. Da alle der Einwirkung des galvanischen Stromes ausgesetzten Electromagneten sich in dieser Beziehung ganz gleich verhalten, so werden im vorliegenden Falle die Zeiger beider auf verschiedenen Stationen stehenden Apparate ganz gleichmäßig so oft um einen Buchstaben weiter gehen, als der im Zustande der Ruhe geschlossene Strom an irgend einer Stelle unterbrochen wird. Einfacher Zeigertelegraph.

Jeder Apparat hat behufs der Zeichengebung eine Vorrichtung zur Unterbrechung des Stromes, einen sogenannten Schlüssel G, der in Fig. 225 besonders abgebildet ist. Der von der Batterie B kommende Draht ist mit der Metallplatte d, also durch die Drehungsaxe C mit dem Metallknöpfchen a, der nach dem Electromagneten M gehende Draht mit dem Knöpfchen b in Verbindung; beide Knöpfchen werden durch die Feder f in Berührung gehal=

Digitized by Google

(Fig. 225.)



ten, wodurch der Strom geschlossen bleibt, bis durch Niederdrücken des Griffes G das Knöpfchen a gehoben wird, und an der mit * bezeichneten Stelle eine Unterbrechung der metallischen Leitung eintritt. Durch schnell auf einander folgendes abwechselndes Niederdrücken und Loslassen des Griffes G werden also die Zeiger sämmtlicher in die Leitung eingeschalteten Apparate gleichmäßig weiter gehen bis zu dem zu signalisirenden Buchstaben, wo eine kleine Pause gemacht wird.

Es ist einleuchtend, daß mit diesen Apparaten eben so gut von Station I nach II, als von II nach I signalisirt werden kann. Das Schließen mit der Hand läßt sich dadurch etwas bequemer machen, daß man den Zeiger selbst in den Strom einschaltet und denselben auf einem Kreise herumdreht, welcher eben so viele Metallknöpfchen trägt, als Buchstaben vorhanden sind, so daß also beim Vorwärtsdrehen des Zeigers eben so viele Schließungen und Unterbrechungen eintreten, als der Zeiger Buchstaben passirt. Allein hierbei treten mancherlei Uebelstände ein. Dreht man den Zeiger rasch, so kann er leicht über das beabsichtigte Ziel hinausgehen; alsdann ist man genöthigt, ihn den ganzen Kreis nochmals durchlaufen zu lassen. Jeder Körper braucht eine gewisse Zeit um aus dem Zustande der Ruhe in den der Bewegung überzugehen; erfolgt das Oeffnen und Schließen zu rasch, so kann auf der entfernten Station der Anker nicht folgen und der Zeiger bleibt zurück; hat aber die Uebereinstimmung beider Zeiger einmal aufgehört, so wird jedes nachfolgende Signal falsch. Zu langsames Telegraphiren führt dagegen einen schädlichen Zeitverlust herbei. Die menschliche Hand ist aber nie im Stande, so genau das richtige Tempo einzuhalten. Man übergab daher das Oeffnen und Schließen einem Uhrwerk, dessen Geschwindigkeit ganz genau nach der Stromstärke regulirt werden kann. Die Einrichtung ist dabei so getroffen, daß der Telegraphist Nichts weiter zu thun hat, als dem rotirenden Zeiger an der Stelle des zu signalisirenden Buchstaben ein Hinderniß entgegen zu stellen. An dem durch das Uhrwerk gedrehten Zeiger selbst ist die Vorrichtung zum Unterbrechen und Schließen angebracht, und mit dem Stillstehen des Zeigers hört also auch das Wechselspiel des Schließens und Unterbrechens auf und folglich auch die Rotation der Zeiger an den in die Leitung eingeschalteten Apparaten.

Allein auch diese Einrichtung erwies sich als unzureichend, weil die Geschwindigkeit der Bewegung des Ankers sich nach der Intensität des Stromes richtet und diese häufigen Schwankungen unterliegt. Bei kräftigem Strome darf das Uhrwerk schneller gehen; tritt nun durch allmählige Abnutzung der Batterie oder durch feuchtes Wetter eine Schwächung des Stromes ein, so wird eine neue Regulirung des Uhrwerkes nöthig. Diesem Uebelstande ist von Siemens auf eine äußerst sinnreiche Weise abgeholfen worden

Digitized by Google

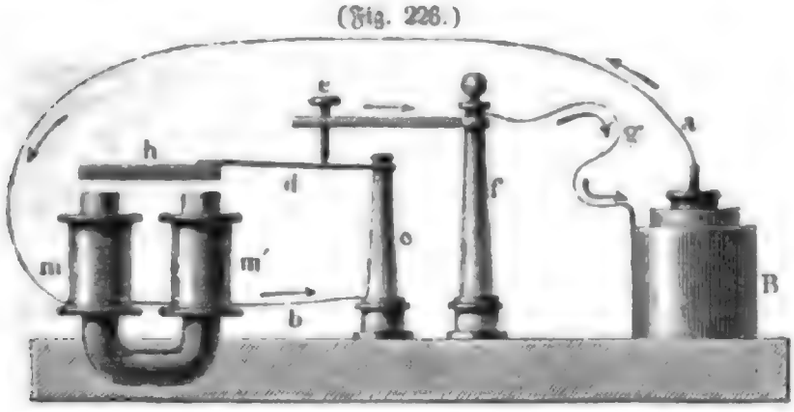
Siemens und Halske's Zeigertelegraph.

Da der Siemens-Halske'sche Zeigertelegraph noch immer ziemlich verbreitet ist, z. B. auf den meisten preußischen Eisenbahnen, so wollen wir wenigstens die Grundidee dieses Apparates geben, bei welchem die Drehung des Zeigers sowohl von der Hand des Telegraphisten, als von einem Uhrwerk, überhaupt von jedem fremden Einfluß unabhängig gemacht ist, indem das Unterbrechen und Schließen durch den galvanischen Strom selbst geschieht — offenbar der einzig sichere Weg, um zwischen der Stromstärke und der Drehungsgeschwindigkeit des Zeigers stets das richtige Verhältniß zu erhalten.

Selbstunterbrechung.

Das Prinzip der von Siemens angewandten Selbstunterbrechung wollen wir durch den Fig. 226 abgebildeten Apparat erläutern. mm' ist ein weiches Eisen, welches magnetisch wird, sobald durch den umgewickelten Draht ein galvanischer Strom geht. Ueber ihm schwebt, an einer Metallfeder d befestigt, ein Anker h von weichem Eisen; dieser wird, sobald mm' magnetisch ist,

(Fig. 226.)

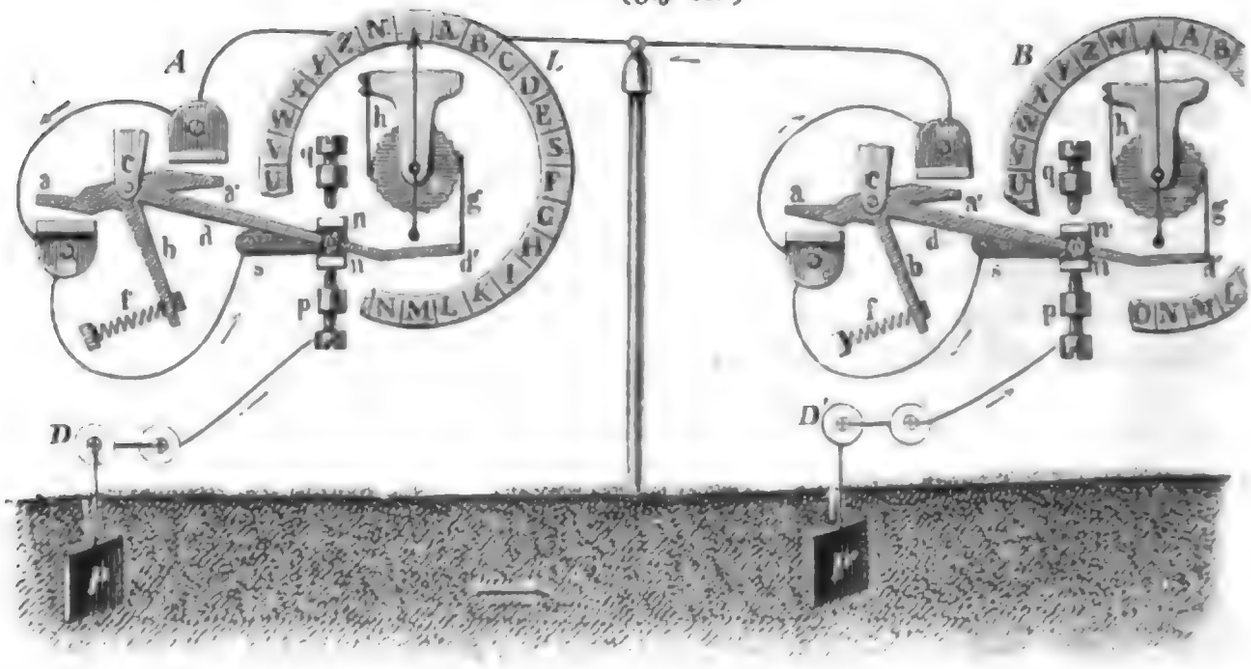


angezogen, die Feder d biegt sich ein wenig nach unten und hört auf, die Stellschraube e zu berühren. Hier tritt also eine Unterbrechung des Stromes Bamm'bcdefgB ein; folglich hört der Magnetismus von mm' augenblicklich auf, bevor der Anker h die Pole des Magneten erreicht hat, die Feder schwingt vermöge ihrer Elasticität zurück, und durch die wiederhergestellte Berührung von d und e wird mm' wieder magnetisch, zieht den Anker an und unterbricht den Strom aufs neue. Dies Spiel wiederholt sich fortwährend, und die Folge ist eine außerordentlich rasche schwingende Bewegung des Ankers h.

Diese schon früher bekannte, beim Reeff'schen Apparate angewandte Selbstunterbrechung des galvanischen Stromes vermöge seiner magnetisirenden Wirkung ist in dem Siemens-Halske'schen Telegraphen mit der hinzutretenden Bestimmung benutzt, daß die Schwingungen des Ankers eine genau abgemessene, stets gleiche Größe haben, nämlich die Weite eines Zahns des Zeigerrades. Fig. 227 giebt ein schematisches Bild dieses Mechanismus im horizontalen Durchschnitt, mit Hinweglassung der zum Theil sehr complicirten Nebenapparate. m und m' sind die mit s. g. Schuhen von weichem Eisen versehenen Pole eines aufrecht stehenden Electromagneten, aa' ist ein Anker von weichem Eisen, welcher in c seinen Drehpunkt hat und mit dem kürzeren Hebel b und dem längeren Arme dd' verbunden ist. An dem Hebel b wirkt die Feder f so, daß sie den Anker von den Polen des Magneten abreißt. Der Hebel dd' trägt an seinem Ende eine Feder g, welche mittelst eines Häkchens in das gezahnte Rad r eingreift, auf dessen Achse der Zeiger befestigt ist; in der Mitte trägt der Arm dd' eine kleine mit Knöpfchen von Elfenbein versehene Hülse o, welche an die aufwärts gerichteten Backen n und n' eines um den Punkt s leicht beweglichen metallenen Schiffchens anschlägt, dessen Ausschlagsweite durch die Schrauben p und q so regulirt ist, daß der Haken der Feder g bei jedem Hin- und Hergange das Rädchen r

Digitized by Google

(Fig. 227.)



genau um einen Zahn, und somit den Zeiger um einen Buchstaben weiter dreht. Der Haken h dient dazu, die Bewegung des Rades r nach der entgegengesetzten Richtung unmöglich zu machen.

Der galvanische Strom nimmt den durch die Pfeile angedeuteten Weg: vom positiven Pole der Batterie D' durch die Schraube p nach der Backe n des Schiffchens s, von diesem um den Electromagneten m m'; durch den Leitungsdraht L nach der Station A, und dort in gleicher Weise durch den Apparat zum negativen Pole der Batterie D, von dieser aus durch die Erde zurück nach der Station B.

Durch die Einwirkung des galvanischen Stroms werden die Electromagneten der eingeschalteten Apparate magnetisch, ziehen also ihre Anker a a' an und es erfolgt eine Drehung des Hebels d d' nach oben, so daß die Feder g über und hinter den folgenden Zahn des Rades r greift. Gleichzeitig stößt aber auch das Knöpfchen o gegen die Backe n', reißt dadurch das Schiffchen s von der Schraube p los, und der Strom wird somit zwischen n und p unterbrochen. Hierdurch hört die magnetische Kraft augenblicklich auf; der Anker wird durch die Abreißfeder f wieder nach unten gezogen und das Rädchen r um einen Zahn weiter gerückt, zugleich aber auch das Schiffchen s wieder mit der Schraube p in Berührung gebracht, folglich der Strom aufs Neue geschlossen, und der Anker von den Magnetpolen angezogen. Auf diese Weise wechseln in rascher Folge Unterbrechung und Schließung des Stroms.

Es ist klar, daß dies Spiel so lange dauern, also beide Zeiger ganz gleichmäßig umlaufen müssen, so lange die vereinigten Batterien D und D' die erforderliche electromotorische Kraft entwickeln. Um nun einen Buchstaben zu signalisiren, wird der eine Zeiger an der betreffenden Stelle mittelst eines ringsum angebrachten Tastenwerks angehalten, und zwar in dem Augenblicke, wo das Schiffchen s mit der Schraube p nicht in Verbindung, also der Strom unterbrochen ist. Vermöge dieser Unterbrechung kommt auch der Zeiger der anderen Station zur Ruhe. Beim Loslassen der Taste wird durch die Feder f der Strom aufs Neue geschlossen und das gleichzeitige Rotiren der Zeiger beginnt wieder und dauert so lange, bis beim nächsten Buchstaben,

der signalisirt werden soll, der Zeiger durch die niedergedrückte Taste wieder aufgehalten wird.

Jeder Apparat enthält einen Wecker, der ganz nach demselben Prinzip construirt ist, bei welchem aber statt des Häkchens g ein kleiner Hammer hin und her bewegt wird, welcher an eine Glocke anschlägt. In der Ruhestellung schaltet der Telegraphist den Zeigerapparat aus und dafür den Weckerapparat ein, bis ihm durch das Glöckchen desselben die Anzeige einer bevorstehenden Depesche gegeben wird. Der beschränkte Umfang dieses Aufsatzes erlaubt uns nicht, auf die verschiedenen, zum Theil sehr interessanten Zeigertelegraphen näher einzugehen, zumal dieselben von untergeordneter Bedeutung sind gegen:

3. Die Drucktelegraphen.

Die Drucktelegraphen haben vor allen übrigen den großen Vorzug, daß sie auf Papier sichtbare Zeichen hinterlassen. Hierdurch sind die gegebenen Signale unabhängig von der größeren oder geringeren Aufmerksamkeit des Empfängers, welche namentlich bei den Nadeltelegraphen nicht gering sein muß, um die in rascher Aufeinanderfolge gegebenen Signale richtig aufzufassen. Kommt bei diesen oder den Zeigertelegraphen ein Fehler vor, so ist hinterdrein nicht mehr nachzukommen, ob das Zeichen falsch signalisirt oder falsch abgelesen worden ist; die Drucktelegraphen aber hinterlassen ein Document, auf welches in streitigen Fällen Recurs genommen und durch welches somit das Beamtenpersonal aufs Genaueste controlirt werden kann. Es leuchtet ein, wie wichtig dieser Umstand besonders bei der Beförderung von Börsennachrichten und anderen Handelscorrespondenzen ist, wo eine einzige falsch gegebene oder falsch abgelesene Zahl die größten Verluste herbeiführen kann; dies ist es wohl hauptsächlich, was den Drucktelegraphen in letzter Zeit ein bedeutendes Uebergewicht über die anderen Systeme verschafft hat.

Unter den Drucktelegraphen hat sich besonders der von dem Amerikaner Morse (1837) erfundene und durch verschiedene deutsche Erfinder (Siemens und Halske, Stöhrer, Nottebohm, Steinheil ꝛc.) vervollkommnete Apparat sowohl durch die Einfachheit seiner Construction, als durch die Bequemlichkeit der Handhabung und die Schnelligkeit der Zeichengebung so sehr empfohlen, daß derselbe auf den meisten Telegraphenlinien Deutschlands, Oesterreichs, Frankreichs, Italiens ꝛc. eingeführt worden ist. Seine Construction ist aus Fig. 228 ersichtlich.

Die Drahtumwindung des Electromagneten mm′ ist durch die Klemmschrauben a und b in die Stromleitung eingeschaltet; über den Polen dieses Electromagneten befindet sich der Anker e, ein Stäbchen aus weichem Eisen, welches an dem um die Achse c drehbaren Hebel dd′ befestigt ist. Beim Schließen des Stromes wird der Anker angezogen; hierdurch geht der linke Schenkel d des Hebels nach oben, und der Stahlstift i wird gegen den Papierstreifen op angepreßt. Beim Aufhören des Stromes und des Magnetismus wird der Anker e von den Polen des Electromagneten und der Stift i von dem Papierstreifen durch die Feder f abgerissen. Beide Bewegungen werden durch die beiden Schrauben k und g regulirt. Die Schraube k verhindert die unmittelbare Berührung des Ankers und der Pole, die Schraube g eine allzuweite Entfernung beider. q ist die Trommel eines gewöhnlichen Uhrwerks (s. g. Laufwerks), das durch ein Gewicht in Bewegung gesetzt wird

Digitized by Google

Fig. 98.

mit jeder Umdrehung durch Vermittelung einer Räderwerks auf die Welle i übertrieben, welche wiederum in eine langsame, gleichmäßige Umdrehung versetzt wird. Gegen diese Welle wird eine gerade Welle k mittelst Schraubenräder l, m, n, o, p, q, r, s, t, u, v, w, x, y, z, a, b, c, d, e, f, g, h, i, k,

..... —.. .— ... .——. .— .—. .—.. .— ——— . —. —

d a s p a r l a m e n t

... ——— .—.. .—.. .— ..— ..—. ——. . .—.. ———. ... —

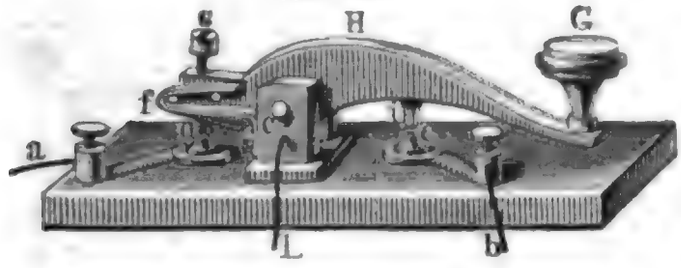
s o l l a u f g e l ö s t

.——— . .—. —.. . —. .....

w e r d e n .

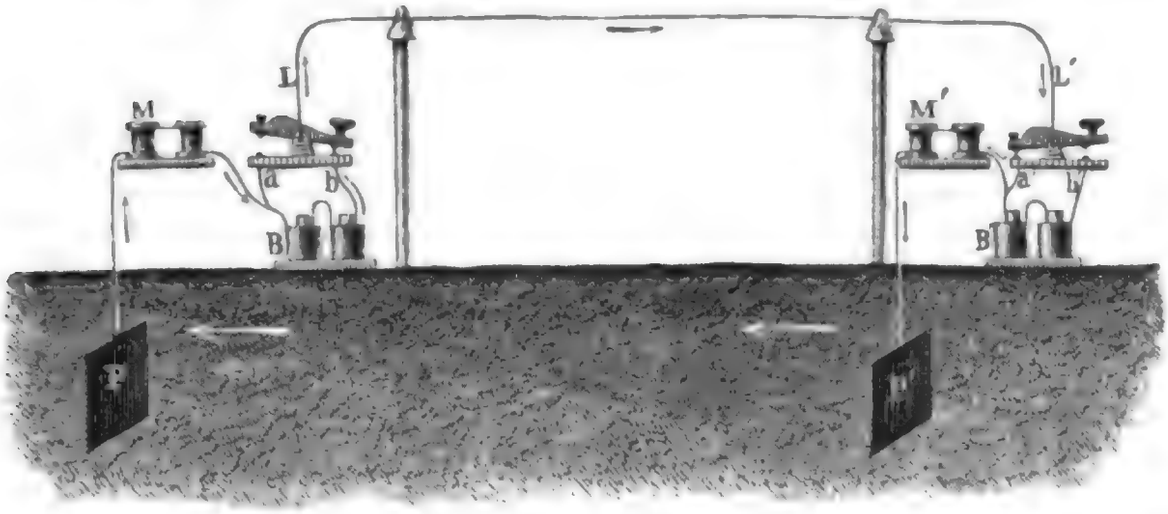
Ein geübter Telegraphist vermag in einer Minute 80 bis 100 Zeichen zu geben, während die vollkommensten Zeigertelegraphen kaum 40 bis 50 Buchstaben in derselben Zeit zu entwickeln vermögen. Zum Zeichengeben ist ein besonderer Schlüssel erforderlich, dessen Einrichtung Fig. 229 zeigt.

(Fig. 229.)



Der Messinghebel H ist in einem metallenen Lager um die Achse c drehbar, steht also mit dem Drahte L stets in leitender Verbindung. In der (abgebildeten) Ruhestellung wird der linke Hebelarm mittelst der Feder f niedergedrückt, hierdurch die Schraube s auf das Metallknöpfchen o gepreßt, welches mit der Klemmschraube a in leitender Verbindung steht, und somit die Verbindung der beiden Leitungsdrähte L und a vermittelt. Drückt der Telegraphist den Griff G nieder, so wird diese Verbindung bei o unterbrochen, dagegen durch das Aufschlagen des Stiftes i auf den s. g. Ambos, das Metallknöpfchen e, welches mit der Klemme b leitend verbunden ist, die Leitungsdrähte L und b in Verbindung gesetzt. Im ersteren Falle ist die Batterie geöffnet, im letzteren geschlossen, wie sich aus der schematischen Figur 230 ergiebt. Der Draht a theilt sich

I. (Fig. 230.) II.



nämlich. Der eine Theil geht nach der Batterie B, der andere nach dem Electromagneten M des Schreibapparates. Das Zapfenlager des Schlüssels steht mit dem Leitungsdrahte L, der Draht b mit dem anderen Pole der Batterie in Verbindung. Stehen beide Schlüssel der verbundenen Stationen in der Ruhestellung, so kann kein Strom entstehen, da die von dem einen Pole der Batterie kommende Leitung bei b unterbrochen ist. Wird dagegen auf Station I. der Schlüssel niedergedrückt, so ist die Batterie B geschlossen

Digitized by Google

und der Strom geht in der Richtung der beigezeichneten Pfeile: B b L L' a' M' P' P M B. Daher kommen auf beiden Stationen die Electromagneten M und M' gleichmäßig in Thätigkeit.

Ein besonderer Weckerapparat ist bei diesen Telegraphen nicht nöthig; das Aufschlagen des Schreibstiftes bringt ein solches Geräusch hervor, daß dasselbe zur Erweckung der Aufmerksamkeit auf der entfernten Station ausreicht. Will der Telegraphist eine Depesche geben, so ruft er die betreffende Station durch wiederholtes Anschlagen des Schreibstiftes; der gerufene Telegraphist antwortet: „Ich bin bereit" und läßt das Uhrwerk seines Apparates los, und nun beginnt die Correspondenz.

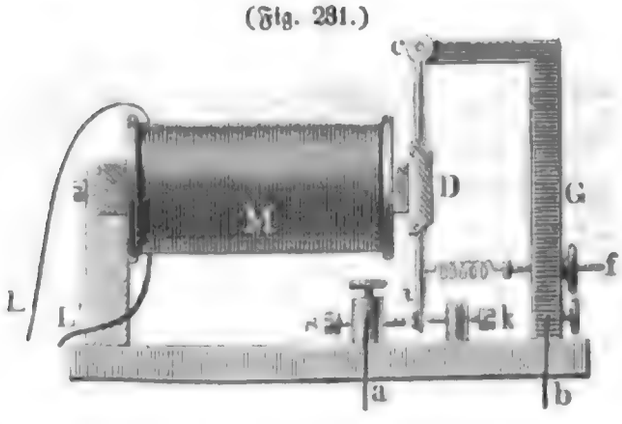
Relais. Wir haben oben (S. 336) bereits darauf aufmerksam gemacht, daß eine absolute Isolirung der Telegraphenleitung unmöglich ist; daraus, sowie besonders aus der Zunahme des Leitungswiderstandes mit der Länge des Drahtes, ergiebt sich für weitere Entfernungen eine so bedeutende Schwächung des Stromes, daß der Morse'sche Apparat sehr bald seinen Dienst versagen würde. Denn es ist klar, daß zur Hervorbringung einer deutlichen, scharf ausgeprägten Schrift eine kräftige Anziehung des Ankers nothwendig ist. Eine directe Correspondenz würde demnach nur auf geringere Entfernungen möglich sein, oder es müßten für größere Entfernungen die Batterien unverhältnißmäßig verstärkt werden.

Diesem Uebelstande ist auf eine ausgezeichnete Weise durch den von Wheatstone erfundenen Uebertrager (das Relais) abgeholfen, eine Vorrichtung, welche es möglich macht, mit einem verhältnißmäßig schwachen Strome auf sehr große Entfernungen direct zu telegraphiren, und durch welche die Telegraphie sehr bedeutend gefördert worden ist.

Der Grundgedanke des Relais, welches eine sehr verschiedene Construction haben kann, ist der, daß der von der entfernten Station kommende schwache Strom nicht direct auf den Schreibapparat wirkt, sondern daß man ihn bloß dazu benutzt, einen kleinen, sehr leicht beweglichen Anker anzuziehen, und hierdurch eine auf der Empfangsstation stehende Batterie zu schließen, welche dann den Schreibhebel in Bewegung setzt.

Der aus der Leitung kommende schwache Strom geht durch die Drähte L' und L (Fig. 231) um den Electromagneten M, welcher mit sehr feinem Drahte vielfach umwunden ist. Der kleine, leichte horizontale Anker D ist an dem Hebel ci befestigt, welcher in c seinen Drehpunkt hat. Im Zustande der Ruhe ist dieser Hebel durch das schwache Federchen f gehalten; geht aber ein Strom durch LL', so wird der Anker angezogen, das Platinplättchen i berührt die Contactschraube s und stellt, wie aus der Figur leicht ersichtlich, eine metallische Leitung zwischen den Drähten a und b her; durch diese wird der Strom der Localbatterie geschlossen, und der Schreibstift kräftig gegen das Papier geschnellt. Durch die Schrauben k und s kann die Bewegung des Hebels ci so regulirt werden, daß sich i und s kaum um die Dicke feinen Postpapiers von einander entfernen. Dies reicht

(Fig. 231.)

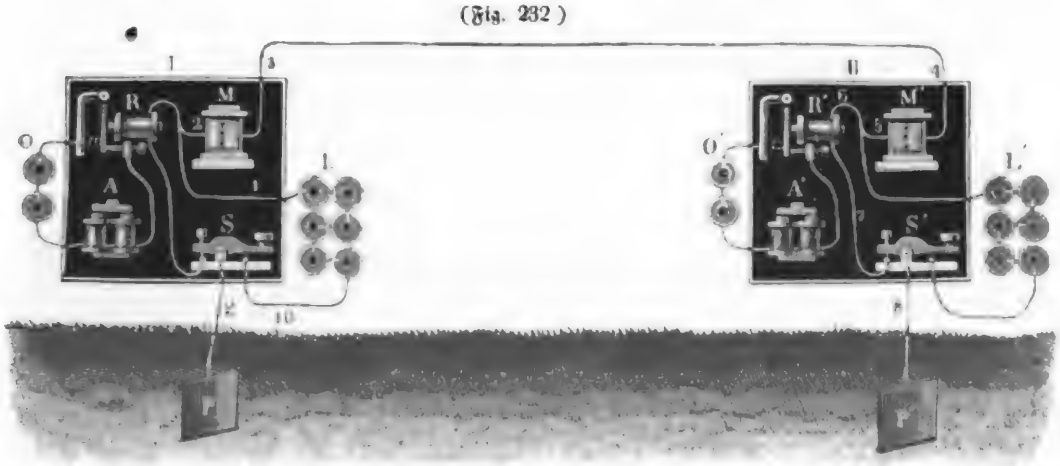


Digitized by Google

vollkommen hin, um den Strom zu unterbrechen. Die Localbatterie darf schwach sein, da ihr Strom wegen der kurzen Leitung einen sehr kleinen Widerstand zu überwinden hat.

Das Relais wird so eingeschaltet, daß der von der entfernten Leitungsbatterie erregte Strom hindurchgeht; daß es jedoch von dem Strome der eigenen Leitungsbatterie nicht afficirt wird. Zu diesem Zwecke hat der Apparatentisch einer Telegraphenstation die in Fig. 232 schematisch dargestellte

(Fig. 232.)



Einrichtung. A ist der Schreibapparat, O die mit demselben verbundene Ortsbatterie, R das Relais, durch welches dieselbe geschlossen und also der Apparat in Thätigkeit gesetzt wird. S ist der Schlüssel, L die Leitungsbatterie und M ein auf jeder Station befindlicher Multiplicator mit aufrecht hängender Nadel, an deren Ausschlägen der Telegraphist das Vorhandensein eines durch den Leitungsdraht gehenden Stromes erkennen kann. Wenn beide Schlüssel in der Ruhestellung und dadurch beide Leitungsbatterien unterbrochen sind, so ist doch der Schlüssel sammt dem Relais auf jeder Station so eingeschaltet, daß von einer Station zur andern eine ununterbrochene Leitung vorhanden ist. Drückt nun der Telegraphist der Station I den Hebel seines Schlüssels nieder, so wird die Leitungsbatterie geschlossen, und der Strom nimmt mit Umgehung des Relais R seinen Weg durch 1, 2, M, 3, 4, M', 5, 6, R', 7, S,' 8, P', P, 9, S, 10, L. Da der Strom sonach um den Electromagneten R' kreist, so wird auf Station II der Relais-Anker angezogen, die dortige Ortsbatterie O' geschlossen und somit der Apparat A' in Gang gesetzt. Durch das Niederdrücken des Schlüssels wird also die Leitungsbatterie der signalisirenden, und die Orsbatterie der empfangenden Station geschlossen; das Relais, und folglich auch der Schreibstift der signalisirenden Station dagegen bleiben in Ruhe.

Vermöge des Relais ist man im Stande, in weit größere Entfernungen direct zu correspondiren, da zur Bewegung des leichten Relais-Ankers ein schwacher Strom genügt. Die Apparate der Zwischenstationen werden dabei meistens ausgeschaltet, da die große Strecke des um die Electromagneten der Relais gewundenen feinen Drahts den Leitungswiderstand unnütz vermehren würde. Hierzu und um das Relais einer Zwischenstation sowohl nach der einen, als nach der andern Seite hin mit dem Leitungsdrahte in

Digitized by Google

Umschalter. Verbindung zu setzen, dient der sogenannte Umschalter, welcher sich auf dem Apparattische jeder Zwischenstation befindet. Von ihm führen Drähte nach der Lokal- und Leitungsbatterie, nach den Leitungsdrähten, nach dem Relais, dem Schlüssel, den Erdplatten und dem Blitzableiter. Durch eine einfache Manipulation können zwischen diesen Drähten alle nothwendigen Verbindungen mit Leichtigkeit hergestellt und unterbrochen werden. An den Zuckungen der Multiplicator-Nadel, welche während der Ausschaltung beobachtet werden muß, kann der Telegraphist bemerken, wie lange die durchgehende Correspondenz dauert; die Beendigung derselben wird allen ausgeschalteten Zwischenstationen dadurch angezeigt, daß auf beiden correspondirenden Stationen die Schlüssel gleichzeitig eine Zeit lang ununterbrochen niedergedrückt werden. Der hierdurch bewirkte größere Ausschlag sämmtlicher Multiplicator-Nadeln gibt den Zwischenstationen das Zeichen, daß sie sich wieder einzuschalten haben.

Uebertragungsstationen. Da mit der Länge der Telegraphenlinie die Größe des Leitungswiderstandes, so wie die Anzahl der auch bei der sorgfältigsten Isolirung unvermeidlichen Nebenschließungen zunimmt, so muß nothwendig, wenn die Länge der Leitung ein gewisses Maaß überschreitet, eine solche Schwächung des Stromes eintreten, daß selbst der leichte Relais-Anker nicht mehr angezogen wird. Die Sicherheit der telegraphischen Correspondenz macht es daher nothwendig, daß eine gewisse Meilenzahl für die directe Correspondenz nicht überschritten werde. Dieses Maximum ist in Preußen auf 50 Meilen bestimmt; längere Linien werden in eine entsprechende Anzahl Unterabtheilungen zerlegt, deren jede eine in sich geschlossene Linie bildet. So zerfällt z. B. die Linie Berlin-Paris in die vier Partialketten: Berlin-Minden, Minden-Deutz, Deutz-Brüssel, Brüssel-Paris. Die Stationen Minden, Deutz und Brüssel, welche zwei Partialketten verbinden, heißen Uebertragungsstationen; sie müssen mit zwei Morse'schen Apparaten versehen sein, deren jeder mit einer der beiden Partialketten in Verbindung steht. Das Weitertelegraphiren einer ankommenden Depesche auf die folgende Linie wird durch den Schreibhebel selbst bewirkt, indem die Bewegung desselben dazu benutzt wird, die Leitungsbatterie zu schließen und mittelst des dadurch erzeugten Stromes das empfangene Signal sofort bis zur folgenden Uebertragungsstation weiter zu geben. Will also Berlin mit Paris correspondiren, so wird durch das in Berlin erfolgende Niederdrücken des Schlüssels die Berliner Leitungsbatterie der Partialkette Berlin-Minden geschlossen und hierdurch der Relais-Anker in Minden angezogen, dieser schließt die Mindener Lokalbatterie und setzt dadurch den Schreibhebel in Bewegung. Indem letzterer die Schrift auf den Papierstreifen verzeichnet, schließt er bei jedem Anziehen die Leitungsbatterie der Partialkette Minden-Deutz und setzt dadurch das Relais in Deutz in Bewegung, welches wiederum die dortige Ortsbatterie schließt und mittelst der dadurch bewirkten Bewegung des Schreibhebels die Leitungsbatterie der Partialkette Deutz-Brüssel schließt u. s. w. Jede Uebertragungsstation bekommt somit eine Abschrift der Depesche.

Bei mehrfacher Uebertragung werden übrigens die Signale nicht so augenblicklich fortgepflanzt, wie bei directer Correspondenz. Der Schluß der Mindener Ortsbatterie, um bei unserm Beispiel stehen zu bleiben, erfolgt erst, wenn der dortige Relais-Anker einen kleinen Weg zurück gelegt hat, und die Minden-Deutzer Leitungsbatterie wird gleichfalls erst dann geschlossen, wenn der Mindener Schreibhebel seine Bewegung vollendet hat. Eben so

Digitized by Google

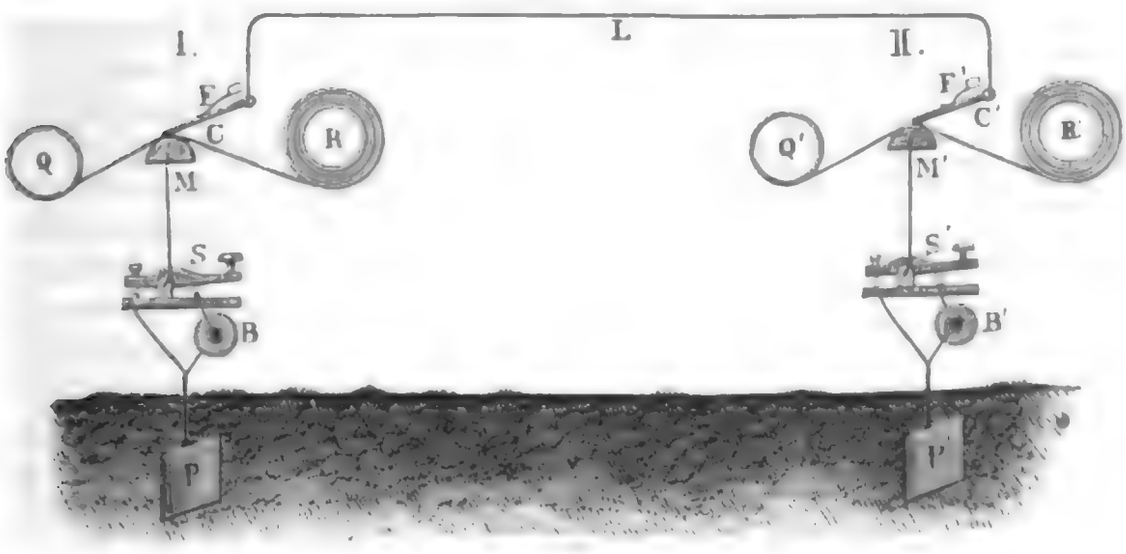
muß in Deutz erst der Relaishebel in Bewegung gesetzt werden und erst am Schlusse dieser Bewegung wird die Deutzer Ortsbatterie geschlossen. Setzen wir diese Betrachtung fort, so ergiebt sich auf jeder Uebertragungsstation eine kleine Verzögerung; ehe das von Berlin abgegangene Signal in Paris aufgeschrieben ist, müssen 8 Hebel, nämlich 4 Relaishebel und 4 Schreibhebel in Bewegung gesetzt werden, und zwar so, daß jeder vorhergehende Hebel seinen Weg zurückgelegt haben muß, ehe der folgende seine Bewegung beginnt. Nun sind zwar diese Bewegungen in sehr enge Grenzen eingeschlossen, allein die Verzögerung ist doch so merklich, daß in solchen Fällen die Zeichen etwas langsamer gegeben werden müssen, als bei direkter Correspondenz innerhalb derselben Partialkette.

Die chemischen Telegraphen.

Zu den Drucktelegraphen sind auch die zuerst von Bain (1847) eingeführten und von Stöhrer, Siemens und Halske, besonders von Gintl vervollkommneten s. g. electrochemischen Telegraphen zu rechnen. Sie gründen sich auf die Eigenschaft des galvanischen Stromes, chemische Verbindungen zu zersetzen. Läßt man den Strom durch ein angefeuchtetes (und dadurch leitend gemachtes) Papier hindurchgehen, welches mit einer leicht zersetzbaren Substanz imprägnirt ist, so erfolgt während des Durchganges des Stromes die chemische Zersetzung. Scheidet sich durch diese ein stark gefärbter Stoff aus, so kann hierdurch auf einen vorbeigeführten Papierstreifen eine Reihe von Strichen und Punkten verzeichnet werden, welche nicht vertieft, wie beim Morse'schen Apparat, sondern gefärbt auf weißem Grunde erscheinen. Zum Imprägniren des Papiers für diesen Zweck sind verschiedene Substanzen vorgeschlagen. Durch folgende billige Mischung erhält man scharf ausgeprägte dunkelblaue Schrift auf weißem Grunde: Wasser 100 Theile, salpetersaures Ammoniak 150 Theile, gelbes Blutlaugensalz 5 Theile. — Das salpetersaure Ammoniak zieht Wasser an und erhält fortwährend das Papier feucht genug.

Der chemische Telegraph ist weit einfacher als der Morse'sche: er enthält keinen Electromagneten und bedarf keines Relais; seine Tragweite ist, wie 1853 durch vergleichende Versuche nachgewiesen wurde, noch etwas größer, als beim Morse'schen. Fig. 233 gibt das Schema zweier in Verbindung

(Fig. 233.)



gesetzten Stationen. B bezeichnet die Batterie, S einen Schlüssel, ganz wie beim Morse'schen Apparate construirt, M einen mit der Axe des Schlüssels in leitender Verbindung stehenden metallenen Halbcylinder, über welchen der feuchte Papierstreif durch gleichmäßige Umdrehung der Rolle Q hinweggezogen wird, indem er sich von der Rolle R abwickelt, C einen durch die Feder F leicht auf das Papier gedrückten Metallstift, L den Leitungsdraht. Drückt einer der Telegraphisten seinen Schlüssel nieder, so wird seine Batterie geschlossen, der Strom geht durch die Metallplatte M und den Schreibstift C und passirt das dazwischen durchgleitende Papier. Hier bewirkt derselbe eine Zersetzung und zeichnet also auf das Papier eine blaugefärbte Schrift, wenn das Papier mit jener Mischung imprägnirt ist.

Da der Schreibstift kein Geräusch verursacht, so ist hier ein Wecker erforderlich; zugleich kann beim Anfang der Depesche von der entfernten Station her das Laufwerk, welches die Rolle Q zu drehen hat, durch einen Electromagneten ausgelöst werden — Vorrichtungen, welche hie und da auch bei Morse'schen Apparaten angebracht sind.

Der chemische Telegraph ist großer Vervollkommnung fähig und hat wahrscheinlich eine bedeutende Zukunft. Schon 1847 schlug Bain vor, sich zum Signalisiren statt des Schlüssels durchlöcherter Papierstreifen zu bedienen. Wird nämlich der Schlüssel S (Fig. 233) niedergedrückt, aber statt des feuchten Papierstreifens ein trockener (nicht leitender) über M' hinweggezogen, so ist der Strom durch dieses Papier unterbrochen. Ist aber das Papier an gewissen Stellen durchlöchert, so wird bei jedem Loch der Schreibstift C' das hier entblößte Metall berühren und den Strom schließen. Die aus Punkten und Strichen bestehende Durchlöcherung wird also auf der entfernten Station eine genaue farbige Copie erzeugen.

Dieser Vorschlag hat im Ganzen wenig Beachtung gefunden, da sich das Interesse der Techniker hauptsächlich dem Morse'schen Apparate zuwandte. Allein die Vortheile dieser Methode sind in die Augen fallend. Mitunter drängen sich die Depeschen auf den Telegraphenstationen so bedeutend, daß die Beförderung von Privatdepeschen stundenlang, ja wohl Tage lang hinausgeschoben werden muß, wenn gerade Staatsdepeschen zu befördern sind. Man hilft sich, wo solche Mißstände zu stark hervortreten, durch Vermehrung der Drahtleitungen und Aufstellung neuer Apparate, da der Morse'sche Apparat ein gewisses Maaß der Schnelligkeit nicht zu überschreiten vermag. Allein hierzu gehört auch die Anstellung neuer Beamten, und wenn sich, wie zu erwarten steht, der telegraphische Verkehr wie bisher auszubreiten fortfährt, so wird sich der Morse'sche Telegraph als unzureichend erweisen. Der chemische Telegraph kann von solchem durchlöcherten Papierstreifen 20mal so schnell signalisiren, als der geübteste Telegraphist mittelst des Schlüssels. Das Einschlagen der Löcher geschieht mit einer Maschine, ganz ähnlich der, mit welcher die Karten für den Jacquard'schen Webestuhl geschlagen werden, und erfordert nicht mehr Zeit, als das Signalisiren mittelst des Morse'schen Schlüssels. Häufen sich also die Depeschen, so können 10, 20 Mann mit dem Einschlagen der Löcher beschäftigt werden, und ein einziger Arbeiter, der noch nicht einmal braucht lesen zu können, ist im Stande, die Depeschen auf einem einzigen Apparate durch einen einzigen Leitungsdraht zu befördern. Neuerdings hat Neubronner auf die großen Vortheile dieser Methode in beachtenswerther Weise aufmerksam gemacht. Nach seinem Vorschlage kann das Telegraphenbureau das Papierband nach der Elle an Private verkaufen, und das

Digitized by Google

Durchlöchern anderen Kräften, selbst den Privaten überlassen, da für das Telegraphiren füglich eine Person hinreicht. Selbst das Uebersetzen kann auf solche Weise erspart werden: der Absender erhält sein Manuscript, das durchlöcherte Papier, zurück, und der Empfänger erhält eine genaue electrochemische Copie. Fehler können dabei gar nicht vorkommen, wie beim Arbeiten mit dem Schlüssel; das Telegraphenamt ist also aller Verantwortung überhoben.

Außer der größeren Einfachheit des Apparates, der größeren Tragweite desselben im Vergleich zum Morse'schen, der größeren Schnelligkeit der Depeschenbeförderung, welche durch die durchlöcherten Streifen möglich und wodurch ein enormes Anlagekapital erspart wird, bietet die vorgeschlagene Methode noch den gar nicht hoch genug anzuschlagenden Vortheil, daß auf die allersicherste Weise geheime Depeschen befördert werden können. Gegenüber dem Briefgeheimniß ist die bisherige Art der telegraphischen Beförderung eine Abnormität, und wir sind überzeugt, daß der telegraphische Verkehr bei weitem lebhafter sein würde, wäre man nicht genöthigt, die Depeschen offen aufzugeben und von den Beamten in eine andere Schrift übersetzen zu lassen. Der electrochemische Telegraph ist fähig, diesen abnormen Zustand aufzuheben, die Papierstreifen können in verschlossenen Kästchen aufgegeben und abgeholt werden, das Beamtenpersonal braucht dieselben nicht zu lesen. Geheime Alphabete u. s. w. können beliebig verabredet werden. Um Mißbrauch zu verhüten, würde das Telegraphenpapier nur an zuverlässige Personen ausgegeben; doch glauben wir kaum, daß damit mehr Mißbrauch vorkommen würde, als mit dem Postpapier oder gar mit dem Druckpapier.

Das Gegensprechen und Doppeltsprechen.

Gegensprechen.

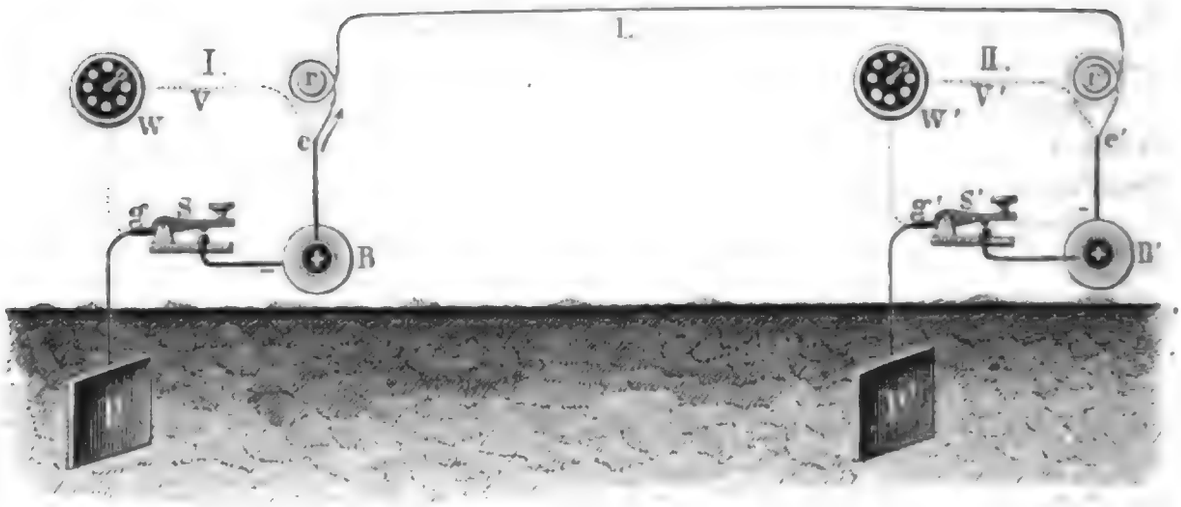
Ein Problem, auf dessen Lösung in der neuesten Zeit großer Scharfsinn verwandt worden ist, das aber eine vollkommen genügende Lösung bis jetzt noch nicht gefunden hat, ist das sogen. Gegensprechen, d. h. die gleichzeitige Beförderung zweier Depeschen durch denselben Leitungsdraht in entgegengesetzter Richtung.

Beim Morse'schen Telegraphen, auf welchen zunächst die Versuche gerichtet waren, wird das Relais der signalisirenden Station durch das Niederdrücken des Schlüssels aus der Leitung ausgeschlossen, kann also nicht von dem aus der Ferne kommenden Strome getroffen werden. Es handelt sich also darum, zu bewirken, daß die Relais beider Stationen stets in ununterbrochener Leitung stehen; daß jedes Relais gleichwohl nicht von dem Schlüssel der eigenen, sondern nur von dem der entfernten Station afficirt wird. Dieses Problem ist von verschiedenen Seiten gelöst worden und zwar auf sehr verschiedene Weisen, die darauf hinaus kommen, daß der durch den Schlüssel der eigenen Station erregte Strom durch einen gleichzeitig erregten gleich starken Gegenstrom neutralisirt wird. Von theoretischer Seite ist dies Problem von Gintl in Wien für den chemischen Telegraphen, von Siemens und Halske in Berlin und Frischen in Hannover für den Morse'schen Apparat vollständig gelöst worden; in der praktischen Ausführung jedoch zeigen sich Schwierigkeiten, welche die Einführung des Gegensprechens vielleicht für immer verhindern werden.

Um unsern Lesern einen Begriff von dieser sinnreichen Einrichtung zu geben, wählen wir die einfachste, von Edlund in Stockholm für den Morse'schen und den Nadeltelegraphen vorgeschlagene Methode, welche jedoch auch für den chemischen Telegraphen Anwendung finden kann. Dieselbe wird aus dem Schema Fig. 234 deutlich werden. Auf beiden Stationen I. und II. bezeich-

Digitized by Google

(Fig. 234.)



net B eine galvanische Batterie, r das Relais eines Morse-Apparates, W einen Widerstandsmesser (Rheostat), bestehend aus einer Anzahl Rollen von isolirtem dünnen Neusilberdraht, von welchem eine beliebige Strecke in die Leitung eingeschaltet werden kann. Neusilber ist ein sehr schlecht leitendes Metall und man kann also durch Einschalten größerer oder kleinerer Stücke den Leitungswiderstand vergrößern oder verkleinern. S ist der Schlüssel, P die Erdplatte, L der oberirdische Telegraphendraht. Bei e theilt sich der Strom; der eine Zweig desselben ist wie gewöhnlich um den Electromagneten des Relais gewunden und geht von da in die Leitung L über; der andere (punktirte) Zweig bildet eine äußere Umwindung des Relais-Magneten, aber in entgegengesetztem Sinne. Denken wir uns, daß um das weiche Eisen r in der Richtung des beigezeichneten Pfeiles ein galvanischer Strom ginge, so würde dasselbe nach der Ampère'schen Regel (S. 213) ein magnetischer Nordpol werden; geht aber von e aus um r in der Richtung der punktirten Leitung ein Strom, so wird r ein Südpol; gehen um r beide Ströme gleichzeitig in entgegengesetzter Richtung und ist ihre Einwirkung auf das weiche Eisen gleich stark, so wird dasselbe eben so stark nord- als südmagnetisch, d. h. es bleibt unmagnetisch. Wenn also der Schlüssel S auf Station I. niedergedrückt wird, so wird die Batterie B geschlossen, bei e theilt sich der Strom; der eine Zweig bildet zuerst die innere Umwindung des Relais r, geht dann durch L nach Station II. bis e'; hier geht er, wenn nicht der Schlüssel S' auch niedergedrückt ist, in die andere (punktirte) Zweigleitung über, umkreist also das Relais r' auch in der äußeren Umwindung im gleichen Sinne und geht dann durch V', W', g', P', P g S zurück nach B. Der andere (punktirte) Zweig geht von e aus in entgegengesetzter Richtung um r, durch V nach dem Rheostaten W, nach g, wo er sich mit dem von der anderen Station zurückkommenden Zweigstrome wieder vereinigt und mit ihm durch S nach B zurückkehrt. Demnach wird das Relais r' arbeiten, das Relais r aber in Ruhe bleiben, wenn die beiden entgegengesetzten Umwindungen einander in Bezug auf ihre Einwirkung auf das weiche Eisen des Relais r gerade neutralisiren. Da die Stromstärke und also auch die magnetisirende Wirkung eines electrischen Stromes von dem Leitungswiderstande abhängig ist und dieser zur Länge des zu durchlaufenden Weges in direktem Verhältniß steht, so muß bei der sehr ungleichen Länge der Wege, welche beide Zweigströme zu durchlaufen haben, für Einschaltung des richtigen Widerstandes

Digitized by Google

Sorge getragen und derselbe auf jeder Station so lange vermehrt oder vermindert werden, bis beim Schließen des Schlüssels das eigene Relais in Ruhe bleibt. Dies wird durch Probiren gefunden.

Aus gleichen Gründen wird also das Relais r′ in Ruhe bleiben, wenn die Batterie B′ durch Niederdrücken des Schlüssels auf Station II. geschlossen wird. Werden dagegen beide Schlüssel niedergedrückt, so müssen beide Relaisanker angezogen werden, weil der Zustand des Gleichgewichts der beiden in entgegengesetzter Richtung die Electromagneten umkreisenden Stromzweige aus leicht begreiflichen Gründen alsdann nicht mehr stattfindet. Ist die Ausgleichung also vorhanden, so steht jedes Relais blos unter dem Einfluß der entfernten Batterie und wird somit die Bewegungen des entfernten Schlüssels verzeichnen, der Schlüssel der eigenen Station mag geöffnet oder geschlossen sein. Dies gibt die Möglichkeit des Gegensprechens auf demselben Drahte. Die Station I. kann eine Depesche nach II. senden und gleichzeitig eine Depesche von dort empfangen, während nach dem jetzigen Verfahren die empfangende Station so lange warten muß, bis die Depesche zu Ende ist.

So großen Vortheil die Lösung dieses Problems auf den ersten Anblick verspricht, so mißlich ist es doch mit der praktischen Ausführung. Zunächst ist es sehr schwierig, wo nicht unmöglich, im Leitungsdrahte den Widerstand und die Stromstärke constant zu erhalten; dieselbe ist fortwährenden Aenderungen unterworfen, welche theils von der Witterung, theils von der Abnutzung der Batterie abhängen. Der Telegraphenverkehr macht es erforderlich, daß eine Station sich mit jeder anderen des Telegraphennetzes in direkte Correspondenz setzen kann. Hier würde also der Eröffnung der Correspondenz jedesmal die gegenseitige Regelung der Leitungswiderstände in dem Ausgleichungsdrahte vorausgehen müssen und somit ein Aufenthalt entstehen, der wahrscheinlich bedeutender wäre, als das jetzige Abwarten. Das Gegensprechen würde demnach allenfalls bei zwei Stationen anwendbar sein, welche fortwährend in lebhaftem Verkehr mit einander sind und mit anderen Stationen wenig zu thun haben.

Ein anderer Uebelstand ist der, daß jede Station erst das Ende der Depesche abwarten muß, ehe wegen eines etwa zweifelhaften Zeichens angefragt werden kann, während jetzt bei der Fig. 223 S. 351 skizzirten Einrichtung die Depesche jeden Augenblick durch eine Gegenfrage unterbrochen und sofort das Mißverständniß aufgeklärt werden kann.

Trotz aller Hochachtung vor dem Scharfsinn, mit welchem das Problem des Gegensprechens gelöst ist, glauben wir es doch aussprechen zu dürfen, daß wir demselben einen sehr geringen praktischen Werth beilegen.

Doppeltsprechen.

Ebenso verhält es sich mit dem sogen. Doppeltsprechen auf demselben Drahte. Hier handelt es sich darum, daß zugleich mehrere Depeschen in derselben Richtung durch denselben Draht telegraphirt werden können. Befinden sich z. B. auf Station I. die beiden Morse'schen Apparate A und B und auf Station II. die Apparate A′ und B′, so soll A mit A′ und B mit B′ correspondiren und wo möglich gegensprechen können, ohne daß einer der andern 3 in dieselbe Leitung eingeschalteten Apparate afficirt wird. Die verschiedenen Lösungen dieser Aufgabe beruhen auf denselben Grundsätzen, wie das Gegensprechen, doch ist die Verbindung der Leitungen, um verschiedene Stromstärken hervorzubringen, zu komplizirt und versprechen zu wenig praktischen Nutzen, als daß wir unsere Leser damit behelligen möchten.

Digitized by Google

Anwendungen der Telegraphie.

Die electrische Telegraphie hat sich bereits in wenigen Jahren mit reißender Schnelligkeit über alle Culturländer ausgebreitet und gewinnt noch fortwährend an Umfang und Bedeutung. In diesem Jahre noch soll der großartige Plan einer telegraphischen Verbindung von Europa und Amerika verwirklicht werden, und bereits sind die Vorarbeiten im Gange, um auch Ostindien mit dem europäischen Telegraphennetze in Verbindung zu setzen. Schon jetzt ist dieses neue Verkehrsmittel von unschätzbarem und so allgemein anerkanntem Werthe für Handel und Industrie, daß es überflüssig erscheinen würde, davon zu reden. Welche Bedeutung dasselbe in Zukunft erlangen dürfte, wenn von Ort zu Ort Telegraphenverbindungen vorhanden sein werden, das läßt sich jetzt im Kleinen schon in der Schweiz wahrnehmen, wo die billige Taxe eine allgemeine Benutzung gestattet.

Wir erinnern an die Sicherheit des Lebens und Eigenthums, welche aus dem Telegraphenverkehr dem Einzelnen wie der Gesammtheit erwächst. Die telegraphische Nachricht eilt dem flüchtigen Verbrecher voraus; mit der Geschwindigkeit des Blitzes entsendet der Telegraph seine Warnung beim Herannahen eines Sturmes, beim Aufbruch des Eises großer Ströme, seinen Hülferuf, wenn ein Unglück eingetreten ist. An Eisenbahnen ist daher der telegraphische Verkehr unentbehrlich. Großer Vortheil ist in Zukunft von einer ausgebreiteten systematisch betriebenen meteorologischen Correspondenz zu erwarten.

Seit der Einrichtung des Telegraphenverkehrs sind alle früheren Schwierigkeiten bei der Bestimmung der geographischen Länge eines Ortes verschwunden. Da sich die Erde in 24 Stunden einmal von Westen nach Osten um ihre Axe dreht, so rückt die Tageszeit mit gleicher Geschwindigkeit in entgegengesetzter Richtung um die Erde. Daher hat Berlin ungefähr eine Stunde früher Mittag als London, weil beide etwa 15 Grad, den 24sten Theil des Kreises von einander entfernt sind. Zu einer Längenbestimmung genügt es, die Zeit-Differenz der richtig gehenden Uhren zweier Orte festzustellen, was bei Orten, zwischen denen Telegraphendrähte ausgespannt sind, gar keine Schwierigkeit hat. Von besonderer Wichtigkeit sind die Ortsbestimmungen für die Orientirung auf dem Meere; dieselben geschehen mittelst genaugehender Uhren, welche nach der Zeit einer bestimmten Sternwarte gestellt sind. Zum Zweck der Längenbestimmungen haben sich die Sternwarten von Greenwich und Paris mittelst des unterseeischen Telegraphentaues zwischen Dover und Calais in direkte Verbindung gesetzt, und um den Seefahrern Gelegenheit zu geben, den Gang ihrer Chronometer zu prüfen, wird von den genannten Sternwarten aus täglich die Zeit nach den wichtigsten Seehäfen telegraphisch mitgetheilt.

Mit Bestimmtheit ist zu erwarten, daß bei größerer Ausbreitung des Telegraphensystems und bei fortgesetztem Gebrauche sich die Vortheile dieses mächtigen Hebels der Bildung in ihrem vollen Umfange werden erkennen lassen.

Digitized by Google

Galvanoplastik.

Unter den Erzeugnissen ägyptischen Kunstfleißes, welche, nachdem sie in den Grabmälern von Memphis und Theben Jahrtausende geruht, durch die Expedition Napoleons nach Paris kamen, findet sich eine Anzahl kupferner Gegenstände, deren Darstellung bis auf die neueste Zeit als eine verloren gegangene Kunst erschien: lebensgroße Hohlfiguren von so dünnem Kupfer, daß dieselben nur wenige Pfunde wiegen, thönerne Gefäße, hölzerne Lanzenspitzen und Schwerter mit einem Ueberzuge von Kupfer, an welchem auch bei der genauesten mikroskopischen Untersuchung weder der Schlag eines Hammers noch der Strich einer Feile, noch eine Löthung wahrzunehmen ist. Gegen die Erzeugung durch Guß sprach nicht allein der Einschluß von Holz, sondern auch die viel zu geringe Dicke des Kupfers, besonders aber die eigenthümliche körnig krystallinische Beschaffenheit des Metalles, wie sie nur an dem gediegen vorkommenden Kupfer hier und da bekannt war. Kurz, die Anfertigung dieser Gegenstände erschien als ein undurchdringliches Räthsel, welches erst in der neuesten Zeit durch die Erfindung der Galvanoplastik gelöst worden ist. Ein genauer Vergleich der fraglichen Alterthümer mit den Erzeugnissen der neuesten Industrie hat den Beweis geliefert, daß jene nur auf galvanoplastischem Wege erzeugt sein können, und daß die alten Aegypter mit den galvanoplastischen Operationen sehr vertraut gewesen sein müssen. Und in der That verhält es sich damit wie mit dem Ei des Columbus; die Galvanoplastik beruht auf Thatsachen und Erfahrungen, die längst bekannt waren, ehe dieselben richtig gewürdigt wurden und ehe die Einsicht in das Wesen der Electricität so weit vorgeschritten war, um dieselben zu verstehen. Es ist längst bekannt, daß ein eiserner Gegenstand in einer Kupfervitriollösung sich sogleich mit metallischem Kupfer überzieht, und ist dieses Verhalten längst zur Gewinnung des sogen. Cämentkupfers in Anwendung gewesen. Derartige zufällige Wahnehmungen mochten es sein, welche den mit Vorliebe die Naturgesetze beobachtenden Aegyptern einen Fingerzeig gaben, einen Weg einzuschlagen, auf welchem ihre Industrie sodann weitere Fortschritte machte, ohne daß eine klare Erkenntniß des ursächlichen Zusammenhangs der beobachteten Thatsachen nothwendig hätte vorhanden sein müssen. Die neuere Galvanoplastik dagegen ist aus der wissenschaftlichen Erkenntniß erwachsen: in ihr hat die Industrie ein unschätzbares Mittel zu vollkommen getreuer Nachbildung und Vervielfältigung plastischer Formen erhalten, welches in allen Zweigen der bildenden Kunst bereits die verschiedenartigsten Anwendungen

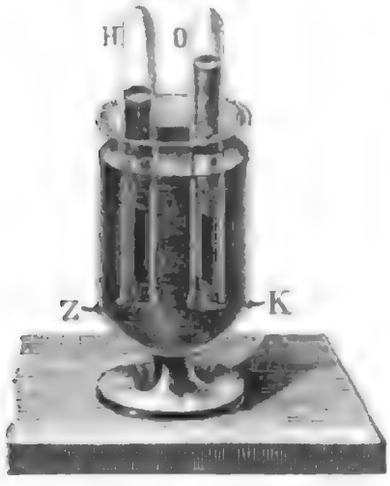
Digitized by Google

findet und in manchen eine vollkommene Umwälzung hervorgerufen hat. Sie macht es dem Künstler leicht, seine Werke auf die mannichfaltigste Weise zu verzieren und so oft zu vervielfältigen, daß Kunstgegenstände, welche sonst nur wenige Bevorzugte besitzen konnten, jetzt auch dem minder Begüterten zugänglich geworden sind; sie dient insonderheit auch der Verbreitung der Wissenschaften und der Entwickelung allgemeiner Bildung, indem sie es möglich macht, von Naturgegenständen, von Holzschnitten, Kupferstichen u. s. w. die vollkommensten Copieen zu liefern.

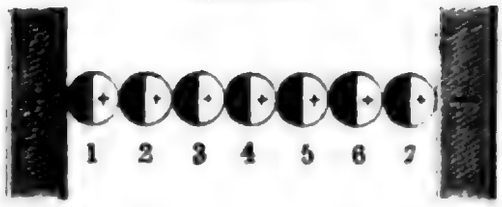
Die Galvanoplastik beruht auf der chemischen Zersetzung zusammengesetzter Körper durch den galvanischen Strom, und wir müssen daher die hierauf bezüglichen Thatsachen, von denen bereits im physikalischen Abschnitt S. 211 die Rede war, etwas genauer ins Auge fassen. Läßt man den galvanischen Strom durch Wasser gehen, welches der besseren Leitung halber mit etwas Schwefelsäure versetzt ist, so wird dasselbe in seine gasförmigen Bestandtheile, Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt. So lange der Strom geschlossen ist, sieht man an den beiden Polplatten K und Z (Fig. 235) Gasblasen aufsteigen; fängt man beide Gase getrennt auf, so findet sich in dem über das positive Platinblech K gestülpten Gläschen O nur Sauerstoff, während sich am negativen Pole Z nur Wasserstoff entwickelt, welcher in dem Gläschen H aufgefangen wird. Da in jedem Atom Wasser beide Stoffe gegenwärtig sind, so sollte man erwarten, daß mit dem Zerfallen der chemischen Verbindung beide Gase an demselben Punkte auftreten müßten. Wie kommt es, daß man bloß an den Eintrittsstellen des positiven und des negativen Stromes diese Gasentwickelung wahrnimmt, während das zwischen beiden Drähten befindliche Wasser keine Zersetzung erleidet? Die Beantwortung dieser Frage ergibt sich aus folgender Betrachtung: Wasserstoff und Sauerstoff sind entgegengesetzt electrisch, und zwar ist der Wasserstoff positiv, der Sauerstoff negativ. In der Chemie ziehen sich bekanntlich nur die Gegensätze an, und diese Anziehung, die man die chemische Verwandtschaft nennt, ist mit der Anziehung electrischer Gegensätze gleichbedeutend. In der chemischen Verbindung beider Stoffe sind die Gegensätze ausgeglichen, und daher zeigt das Wasser wegen der gleichförmigen Vertheilung der Atome beider Substanzen keine freie Electricität. Befindet sich dasselbe aber zwischen den Polen einer galvanischen Kette, so werden die zunächst an der positiven Platte liegenden Wassertheilchen eine solche Stellung einnehmen, daß ihr negativer Bestandtheil (Sauerstoff) dem positiven Pole zugekehrt, der positive Bestandtheil (Wasserstoff) abgewendet ist; denn nach dem electrischen Fundamentalgesetz ziehen sich die Gegensätze an, während die gleichnamigen Electricitäten einander abstoßen (S. 189). Das erste Wassermolekül wirkt in gleicher Weise richtend auf das zweite, dieses auf das dritte u. s. w., so daß sämmtliche zwischen den beiden Poldrähten befindlichen Wassermoleküle ihren Sauerstoff (—) dem positiven, ihr Wasserstoffatom (+) dem negativen Draht zukehren, wie es durch Fig. 236 versinnlicht wird, wo die Wassertheilchen 1—7 durch Kreise dargestellt sind, deren beide Hälften die Bestandtheile des

Chemische Zersetzung.

(Fig. 235.)



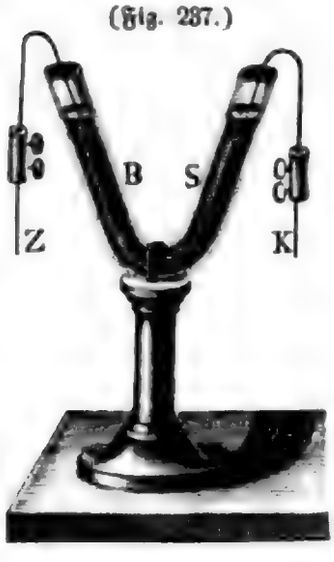
(Fig. 236.)



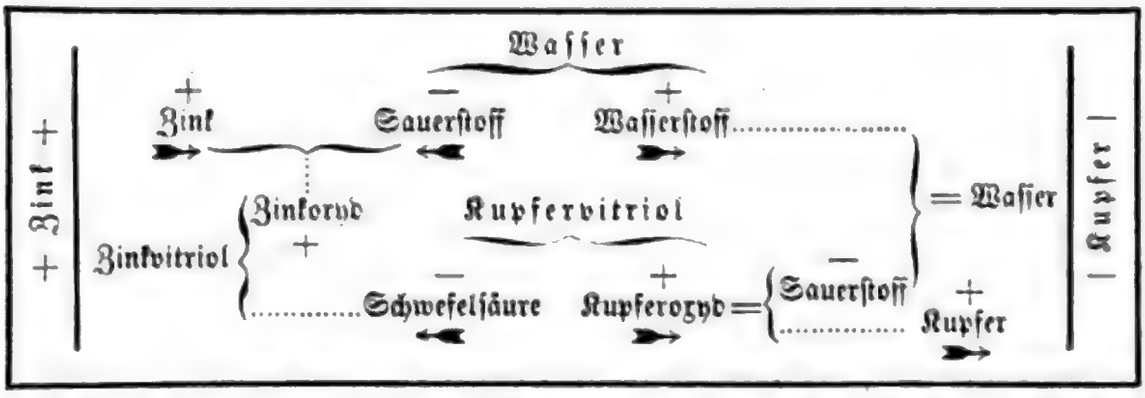
Wassers andeuten sollen. Wirkt nun die freie Electricität des positiven Drahtes auf das Wassertheilchen 1, so wird diesem sein Sauerstoff entzogen, gewissermaßen losgerissen von dem Wasserstoffatom; dieses aber verbindet sich mit dem Sauerstoff des Wassertheilchens 2, der dadurch frei werdende Wasserstoff verbindet sich mit dem Sauerstoff von 3 u. s. w. Daraus ergibt sich, daß der Wasserstoff des letzten, an den negativen Pol grenzenden Wassertheilchens 7 übrig bleiben muß. Es findet also zwischen beiden Polen eine fortwährende Trennung und Wiedervereinigung der Elementarstoffe Statt; die letzteren treten nur an den Endpunkten auf, und zwar nothwendig in demselben Mengenverhältniß, in welchem sie zu Wasser vereinigt sind. Wendet man statt des Platindrahtes ein unedles d. h. stark electropositives Metall an, so entwickelt sich am positiven Pole kein Sauerstoff, sondern derselbe verbindet sich mit dem Metall zu einem Oxyd, welches entweder einen Ueberzug bildet, oder, wenn eine freie Säure vorhanden ist, von dieser aufgelöst wird.

Auf dieselbe Weise werden alle chemisch zusammengesetzten Körper durch den galvanischen Strom in ihre Bestandtheile zerlegt, da diese Bestandtheile zu einander stets in einem electrischen Gegensatze stehen, welcher in der Verbindung seine Ausgleichung findet. Füllt man z. B. ein zweischenkliges Rohr BS (Fig. 237) mit der Lösung von Glaubersalz, welches aus Natron und Schwefelsäure besteht, und läßt man in beide Schenkel die Platinbleche K und Z eintauchen, welche mit den Polen einer galvanischen Batterie verbunden sind, so trennen sich die Bestandtheile des Salzes: die Basis, das Natron, sammelt sich in dem Schenkel B, in welchem sich das negative Platinblech befindet, die Schwefelsäure begibt sich, angezogen vom positiven Pol, in den Schenkel S. Man kann diesen interessanten Vorgang ausgezeichnet zur Anschauung bringen, wenn man die Salzlösung vorher mit einem Auszug von Veilchenblättern oder Rothkohl färbt. Der blaue Farbstoff dieser Pflanzen wird nämlich durch Säuren roth, durch Basen grün gefärbt, und man kann die fortschreitende Zersetzung mittelst dieser Farbenwandlung genau verfolgen. Kehrt man die Richtung des Stromes um, so kehren sich auch die Farben um. Dieselben Zersetzungen finden nothwendig auch in den Flüssigkeiten der galvanischen Erregungsapparate selbst Statt; die sich daraus ergebende Schwächung des galvanischen Stromes wird bei den sogen. constanten Ketten vermieden, über welche wir in der Abhandlung über electrische Telegraphie, S. 328 u. f., das Nähere angegeben haben. Uns interessirt hier vorzugsweise die S. 331 beschriebene Daniell'sche constante Kette, da dieselbe zur Entdeckung der Galvanoplastik geführt hat. Das electronegative Metall (Kupfer) ist bei dieser Kette in eine Lösung von Kupfervitriol getaucht und es wird sowohl dieses Salz, als auch das lösende Wasser zersetzt. Wir wollen versuchen, diese doppelte Zersetzung schematisch darzustellen:

(Fig. 237.)



Digitized by Google

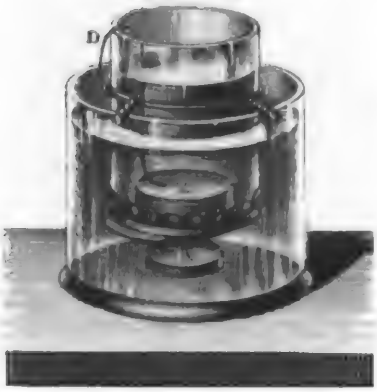


Nach dem positiven oder Zinkpole geht der Sauerstoff des Wassers und bildet damit Zinkoxyd, welches sich mit der aus der Zersetzung des Kupfervitriols hervorgehenden Schwefelsäure verbindet und damit ein neues, im Wasser lösbares Salz, Zinkvitriol oder schwefelsaures Zinkoxyd bildet. Die positiven Bestandtheile des Wassers und des Kupfervitriols, Wasserstoff und Kupferoxyd, gehen nach dem negativen oder Kupferpol; beide wirken aber so auf einander, daß der Sauerstoff des Kupferoxyds sich mit dem Wasserstoff zu Wasser vereinigt, und daß metallisches Kupfer ausgeschieden wird. Daraus geht hervor, daß durch die Wirkung des Stromes sich die Kupfervitriollösung verdünnt, indem sich dafür eine entsprechende Menge Zinkvitriol bildet. Soll die Wirkung der Kette constant sein, so muß in der Kupfervitriollösung stets eine Quantität ungelöster Krystalle vorhanden sein, um die Lösung concentrirt zu erhalten. Das metallische Kupfer, welches sich hierbei absetzt, bildet auf der Kupferplatte der Daniell'schen Kette eine dichte zusammenhängende Masse, welche sich davon trennen läßt und dann mit größter Genauigkeit alle Vertiefungen in erhabener Form wiedergiebt. Dieser früher schon von mehreren Physikern beobachtete Vorgang brachte im Jahre 1839 den deutschen Professor Jacobi in Petersburg auf den glücklichen Gedanken, gravirte Kupferplatten, Münzen u. s. w. dadurch zu copiren, daß er dieselben als negativen Pol in die Daniell'sche Kette einsetzte. Er gab der zu galvanoplastischen Zwecken benutzten Daniell'schen Kette eine entsprechende Form und seine Versuche waren mit ausgezeichnetem Erfolge gekrönt. Sobald er sein Verfahren bekannt gemacht hatte, bewies der Engländer Spencer, daß er dieselbe Erfindung unabhängig von Jacobi gleichfalls gemacht hatte. Sogleich erkannte man allgemein die große Wichtigkeit derselben; eine Menge der nützlichsten Anwendungen der neuen Kunst stellten sich in Aussicht; sie wurde daher mit Begeisterung aufgenommen und im Laufe der Zeit vielfach erweitert und verbessert, so daß dieselbe eine bedeutende Rolle in der heutigen Industrie einnimmt.

Da bei der galvanischen Zersetzung das Kupfer die Erhabenheiten und Vertiefungen der Fläche umgekehrt darstellt, so ist es nothwendig, sich von dem abzubildenden Gegenstande zunächst einen Abdruck oder eine sogenannte Matrize. Matrize zu verschaffen. Dies geschah ursprünglich stets auf galvanoplastischem Wege. Gesetzt man wollte eine Medaille copiren, so legt man dieselbe, nachdem sie vorher auf ihrer Rückseite und ringsum am Rande mit geschmolzenem Wachs bestrichen ist, um hier den Kupferabsatz zu verhindern, auf den Boden eines hinreichend weiten Glasgefäßes (Fig. 238). In dasselbe setzt man dann, wie aus der Abbildung ersichtlich, einen beiderseits offenen Glascylinder ein, der am unteren Ende mit einer Schweinsblase zugebunden ist. Ein Zuckerglas mit abgesprengtem Boden eignet sich dazu ganz gut.

Digitized by Google

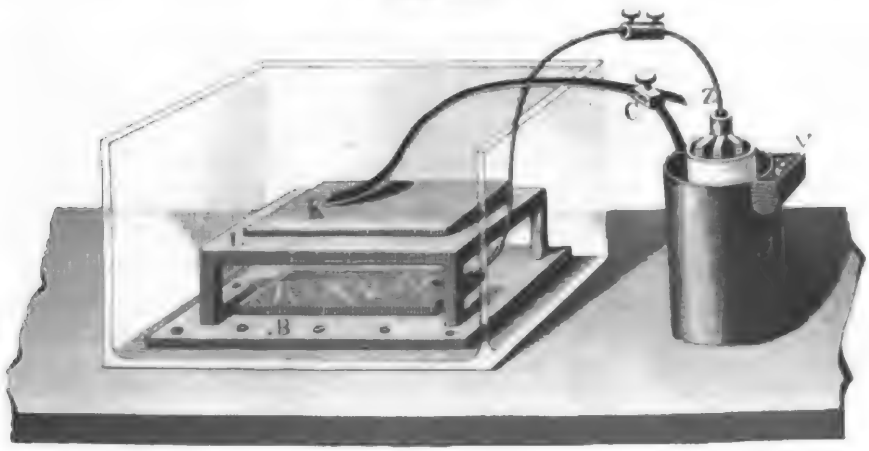
(Fig. 238.)



In dieſen inneren Cylinder hängt man ſodann einen amalgamirten Zinkblock Z mittelſt des darin eingeſchmolzenen Kupferdrahtes D, ſo daß er die Schweinsblaſe beinahe berührt. Der Kupferdraht D iſt ſo gebogen, daß er zugleich die Münze K berührt. Er wird, ſo weit er in die Flüſſigkeit zu tauchen hat, gleichfalls mit Wachs oder einem andern Nichtleiter überzogen; bloß der Punkt wo er die Münze berührt, bleibt von dem Ueberzuge frei. Das äußere Gefäß wird nun mit Kupfervitriollöſung, der innere Cylinder, in welchem das Zink hängt, mit Waſſer gefüllt, welchem etwas Schwefelſäure zugeſetzt iſt. Sogleich bedeckt ſich die Medaille mit einem dünnen Kupferüberzuge. Um das ausgeſchiedene Kupfer zu erſetzen, bringt man in die Löſung einige Kupfervitriolkryſtalle und erſetzt dieſelben, ſo wie ſie ſich löſen, durch neue. Nach etwa 24 Stunden wird die Kupferſchicht in der Regel dick und feſt genug ſein, um ſie ablöſen zu können. Die Trennung macht keine Schwierigkeit, wenn die gut gereinigte Münze vor dem Einlegen mit etwas Oel ſorgfältig abgerieben wurde. Wenn das Original ſammt der anhaftenden Matrize aus dem Apparate genommen iſt, wäſcht man dieſelbe ſorgfältig ab, entfernt alles Wachs und erwärmt beide über einer Spiritusflamme; die Trennung erfolgt dann in der Regel ohne Weiteres mit einem leiſen Knall. Um das Anhaften der Matrizen an großen Kupferplatten mit ſehr feiner Gravirung, z. B. an den für den Landkartendruck beſtimmten Kupferſtichen, zu verhindern, wird nach Mathiot die ſorgfältig gereinigte und ganz ſchwach galvaniſch verſilberte Originalplatte mit einer ſehr verdünnten Jodlöſung (1 Theil Jod in 20,000 Th. Alkohol) gewaſchen und dann einige Stunden der Einwirkung des Sonnenlichtes ausgeſetzt. Hierdurch leidet die Schärfe der Zeichnung nicht im Mindeſten, und die Matrize trennt ſich ganz leicht vom Originale.

Ein Apparat für derartige Platten iſt Fig. 239 dargeſtellt. Die zu copirende Platte liegt auf dem Brett B am Boden eines großen gläſernen Troges und ſteht durch einen mit Wachs überzogenen Draht mit dem nega-

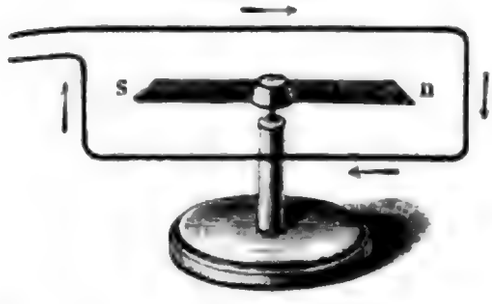
(Fig. 239.)



Digitized by Google

tiven Pole Z einer galvanischen Kette in Verbindung. Der positive Pol ist durch den Kupferstreifen C mit einer starken Kupferplatte K in Verbindung gebracht, welche auf einem durchlöcherten Bänkchen L liegt und in Leinwand eingeschlagen ist, damit bei ihrer Auflösung keine Unreinigkeiten auf die darunter liegende Form fallen. Der Glastrog ist mit einer nicht ganz concentrirten Kupfervitriollösung gefüllt. Hier ist die Electricitätsquelle außerhalb des Troges in dem daneben stehenden Daniell'schen Elemente zu suchen. Durch Hinzufügung mehrerer Elemente kann man den Strom verstärken, durch Einschiebung eines Rheostaten, d. h. einer beliebig großen Strecke eines dünnen, schlecht leitenden Drahtes (S. 356) den Leitungswiderstand vergrößern, also die Stromstärke verringern. Wir berufen uns hierbei auf dasjenige, was wir über die Intensität des galvanischen Stromes bei Gelegenheit der Telegraphenleitungen (S. 332) gesagt haben. Allgemeine Regel ist bei galvanoplastischen Operationen, daß zu Anfang des Prozesses, während sich der erste dünne Ueberzug bildet, ein sehr schwacher Strom gegeben werden muß; späterhin, wenn es sich blos um Verstärkung des Abdrucks handelt, kann man den Kupferniederschlag beschleunigen, indem man den Strom verstärkt. Um die Stromstärke zu beurtheilen, kann man in die Drahtleitung ein Galvanometer (Fig. 240) einschalten, welches durch die Größe der Ablenkung der Magnetnadel sn die Stärke des Stromes anzeigt (s. S. 214). Wir bemerken hierbei, daß eine bedeutende Verstärkung des Stromes herbeigeführt, also die Verdickung des Kupferniederschlages sehr beschleunigt wird, wenn man die Kupfervitriollösung erwärmt. Die Flüssigkeiten zeigen hierin das umgekehrte Verhalten der Metalle: ein Metalldraht leistet einen größeren Leistungswiderstand, wenn er heiß, als wenn er kalt ist; Flüssigkeiten dagegen leiten den Strom desto besser, je höher ihre Temperatur ist.

(Fig. 240.)



Wir haben oben (S. 362) gesehen, daß durch den galvanischen Prozeß der Sauerstoff des zerlegten Wassers und die Schwefelsäure des Kupfervitriols an dem positiven Pole ausgeschieden werden; besteht letzterer, wie im Daniell'schen Elemente, aus Zink, so bildet sich Zinkvitriol; besteht er, wie hier (Fig. 239), aus Kupfer, so bildet sich Kupfervitriol, indem sich von der Platte K stets so viel auflöst, als auf die negative Polplatte B niedergeschlagen wird. Hierdurch behält die Lösung die gleiche Concentration bei, ohne daß krystallisirter Kupfervitriol zugesetzt werden müßte. Wir werden weiterhin sehen, daß man von demselben Prinzip, besonders beim Niederschlagen der edlen Metalle, vielfach Anwendung macht.

Die auf die vorher angegebene Weise dargestellte galvanoplastische Matrize wird, sobald sie die hinreichende Dicke erlangt hat, sammt dem Original aus dem Apparate genommen und mit reinem Wasser abgespült; man entfernt dann sorgfältig alles Wachs, feilt den etwa gebildeten überstehenden Rand ab und trennt die Matrize vom Original, indem man am Rande ein Messer dazwischen schiebt. Um nun von der Matrize einen richtigen Abdruck zu bekommen, wird sie genau ebenso behandelt, wie die erste Originalplatte.

Digitized by Google

Die galvanoplastisch dargestellten Matrizen sind allerdings die schärfsten und dazu die dauerhaftesten. Allein ihre Anfertigung erfordert viel Zeit, große Sorgfalt und ein theures Material. Sie sind daher nur für die feinsten gravirten Platten und für solche Gegenstände beibehalten worden, welche eine wiederholte Anwendung derselben Matrizen wünschenswerth machen. Sehr bald fand man Wege, die Matrizen leichter und schneller darzustellen, indem man Münzen, Holzschnitte u. dergl. in einem leicht schmelzbaren Metalle abformte. Eine Mischung aus 3 Theilen Blei, 2 Th. Zinn und 5 Th. Wismuth, welche schon bei 91° C. schmilzt, eignet sich hierzu vortrefflich. Der abzuformende Gegenstand wird in die Oberfläche der geschmolzenen Legirung in dem Augenblicke eingestoßen, wo dieselbe erstarrt.

Matrizen aus leichtflüssigem Metall.

Einen bedeutenden Fortschritt machte die Galvanoplastik, als man fand, daß die Matrizen nicht nothwendig aus einem Metall bestehen müssen, sondern jede plastische oder leicht schmelzbare Substanz dazu dienen könne, wenn man nur die Oberfläche, auf welcher der galvanische Niederschlag entstehen soll, leitend macht. Zum Abformen von Münzen kann man eine Mischung von gleichen Theilen Wachs und Stearin nehmen, welchen man eine kleine Quantität Schlemmkreide oder feingepulvertes Bleiweiß zusetzt. Die Masse wird mehrmals umgeschmolzen und gut gemischt. Man bindet um die sorgfältig gereinigte und mit etwas Oel abgebürstete Münze einen Rand von Papier, schneidet dies an der Unterseite ab und gießt in das hierdurch gebildete Gefäß, dessen Boden die Münze bildet, die bei mäßiger Hitze geschmolzene Mischung. Bevor letztere erstarrt, ist es zweckmäßig, die abzuformende Fläche mit einem feinen Pinsel zu überfahren, um alle etwa vorhandenen Luftbläschen zu entfernen. Sobald das Wachs erkaltet ist, nimmt man den Papierrand ab, die Matrize löst sich leicht von der Münze und zeigt eine ganz scharfe Ausprägung. Sie muß nur, bevor sie in den galvanischen Apparat eingesetzt wird, mit einem guten Electricitätsleiter überzogen werden. Früher wählte man dazu Gold- oder Silberschaum oder unfühlbar feines Silberpulver: Murray entdeckte, daß man dieses kostspielige und sehr mühsame Verfahren durch Anwendung des viel billigeren Graphits ersetzen könne, der englische Graphit eignet sich hierzu wegen seiner Feinheit am besten. Graphit leitet die Electricität sehr gut und läßt sich leicht in ein äußerst zartes Pulver verwandeln, welches mit einem feinen Pinsel oder einer zarten Bürste ohne große Mühe in einer überaus dünnen zusammenhängenden Schicht auf der zu copirenden Fläche verbreitet werden kann, wobei die feinsten Erhabenheiten und Vertiefungen vollkommen gut erhalten bleiben.

aus Wachs.

Graphit.

Ein ganz vorzügliches, weit dauerhafteres Material, besonders zu Matrizen für Holzschnitte, ist die Gutta-Percha. Diese Substanz ist im erwärmten Zustande ganz weich und so vollkommen plastisch, daß sie die feinsten Formen mit der größten Schärfe wiedergiebt. Man legt dieselbe in heißes Wasser, wobei sie sich erweicht, knetet sie mit nassen Händen sorgfältig zu einer gleichförmigen Masse und legt, wenn ein mäßiger Grad der Erstarrung eingetreten ist, eine angemessene Menge auf den gut gereinigten, mit feinem Graphit überbürsteten und mit einem vorstehenden metallenem Rande umgebenen Holzschnitt, bedeckt sodann die Gutta-Percha mit einer Metallplatte und setzt das Ganze dem allmählig verstärkten Druck einer Schraubenpresse aus. Nach einer halben Stunde ist die Matrize so weit abgekühlt und erhärtet, daß man sie abnehmen kann. Der überschießende Rand läßt sich mit einem scharfen Messer leicht abschneiden. Vor dem Einsetzen in den Apparat

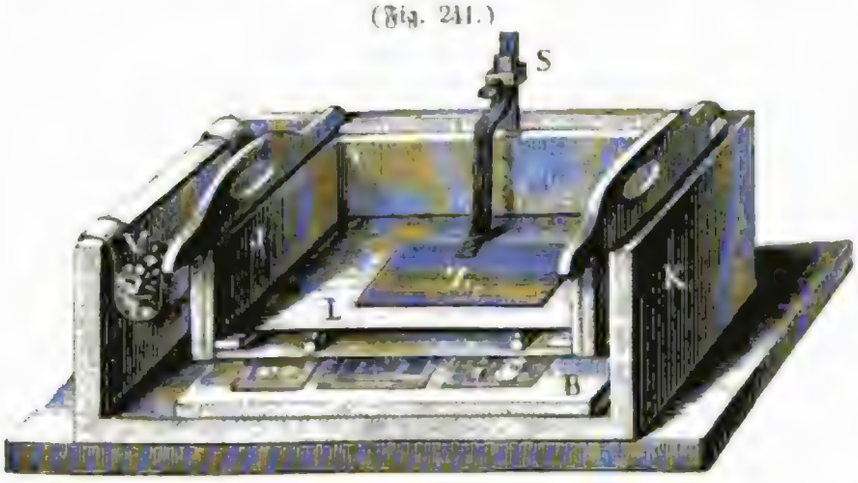
Matrizen aus Gutta-Percha.

Digitized by Google

wird die Gutta-Percha-Matrize durch sorgfältiges Ueberbürsten mit Graphit leitend gemacht.

Fig. 241 zeigt einen galvanoplastischen Apparat zum gleichzeitigen Abformen mehrerer Holzschnittmatrizen. Dieselben werden auf einem Brett B mit Messingstiften aufgenagelt und durch ganz dünne kupferne Leitungsdrähte, die an die etwas vorstehenden Köpfe der Messingstifte befestiget werden, unter einander, so wie mit dem aufwärtsgehenden Kupferstreifen S verbunden. Das Brett wird auf den Boden eines hölzernen, mit einem guten Lack ausgestrichenen (noch besser mit Dachblei, welches vermittelst einiger Glasstreifen isolirt ist, wasserdicht ausgefütterten) Kastens K gelegt und durch gefirnißte Bleigewichte beschwert, so daß es in der Kupfervitriollösung nicht schwimmt. Der Boden des inneren Kastens J ist aus Pergament oder Kalbsleder gebildet; über demselben liegt auf einem ausgespannten Stück Leinwand L die Zinkplatte Z, von welcher ein kupferner Bügel aufwärts geht, um die Verbindung mit dem Kupferstreifen S durch eine Klemmschraube herzustellen.

(Fig. 241.)



Soweit die beiden kupfernen Verbindungsstreifen in die Flüssigkeit eintauchen, sind dieselben mit einem isolirenden Anstrich überzogen. Der äußere Kasten K wird hierauf mit Kupfervitriol, der innere Kasten J mit sehr verdünnter Schwefelsäure gefüllt. Im oberen Theile von K hängt eine siebartig durchbrochene kupferne Rinne V, welche Kupfervitriolkrystalle enthält. Wenn sich die Matrizen mit einem dünnen Ueberzuge von Kupfer bedeckt haben, setzt man in J etwas mehr Schwefelsäure zu, wodurch der Strom verstärkt und somit die Kupferablagerung beschleunigt wird.

Haben die Kupferniederschläge die gewünschte Dicke erlangt, so wird der Apparat auseinander genommen. Die Abdrücke trennen sich leicht von den Gutta-Percha-Matrizen. Um dieselben zum Druck fertig zu machen, werden sie auf der Rückseite durch Schriftmasse, eine Legirung von Blei, Antimon und Zinn, verstärkt, darnach abgerichtet und auf ein Holz- oder Bleiklötzchen von entsprechender Höhe befestigt. Um die Schriftmasse auf dem Kupferniederschlag haften zu machen, muß der letztere zuvor auf der Rückseite verzinnt werden. Da die Kupferplatten weit mehr Abdrücke aushalten, als die weichen, leicht abgenutzten Holzschnitte, so ist es hierdurch möglich, von einem Holzschnitt eine beliebige Anzahl guter Abdrücke zu erhalten, ohne daß die späteren den früheren an Schärfe nachstehen. Der meist mit vieler Mühe und großen Kosten hergestellte Original-Holzschnitt bleibt nämlich, da nicht von diesem, sondern von der galvanischen Platte gedruckt wird, zu etwa nothwendig werdenden neuen galvanischen Abgüssen in Reserve. Sämmtliche Illustrationen dieses Werkes sind mit galvanoplastisch erzeugten Kupferplatten gedruckt.

Digitized by Google

Von solchen Originalien aber, welche weder Druck noch Hitze ertragen können, werden die Matrizen am besten aus Gyps gemacht. Um die Bildung von Luftbläschen zu vermeiden, trägt man auf das gut gereinigte, mit etwas Oel abgeriebene und mit einem Rande umgebene Original zuerst mit einem Pinsel einen Ueberzug von dünnflüssigem Gypsbrei auf, und fügt erst, wenn man sich überzeugt hat, daß keine Bläschen mehr vorhanden sind, den übrigen Gypsbrei hinzu. Sobald der Gyps erstarrt ist, entfernt man den Rand und trennt die Matrize vorsichtig vom Originale. Beim scharfen Austrocknen zieht sich der Gyps ein wenig zusammen, eine Eigenschaft, welche sich mitunter benutzen läßt, um *verkleinerte* Copieen zu erzeugen. Zu dem Ende nimmt man von dem ersten Gypsabguß nach dem Trocknen einen zweiten, von diesem einen dritten u. s. w. Geschieht dies mit der nöthigen Sorgfalt, so kann man, ohne daß die Schärfe der Ausprägung im mindesten leidet, beliebige Verkleinerungen des Originals erhalten, in denen alle Verhältnisse richtig bleiben. — Vor dem Gebrauche wird die am Ofen völlig ausgetrocknete und bis etwa 60° C. erwärmte Form mit der Rückseite in geschmolzenes Wachs oder Stearin getaucht, welches den Gyps leicht durchdringt. Sobald dasselbe an der Oberfläche erscheint, wird die Matrize herausgenommen und an der Oberfläche durch aufgelegtes Löschpapier getrocknet, um jeden Ueberschuß, welcher durch Ausfüllung der zartesten Vertiefungen die Schärfe der Form benachtheiligen würde, hinwegzunehmen. Nach dem Erkalten wird die Oberfläche der Matrize mittelst einer weichen Bürste mit Graphit oder feinem Bronzepulver überzogen und in den galvanoplastischen Apparat eingesetzt.

Matrizen aus Gyps.

Die bisher beschriebenen Methoden können selbstverständlich nur zum Abformen solcher Gegenstände dienen, welche geringe Erhabenheiten und Vertiefungen haben, wie Medaillen, Siegel, Holzschnitte und Druckplatten aller Art. Schwieriger ist das Verfahren, besonders die Herstellung der Matrize, wenn die nachzubildenden Gegenstände ein stark hervortretendes und unterarbeitetes Relief haben, oder wenn *Büsten*, *Statuen* u. dgl. kopirt werden sollen. Es ist häufig nicht möglich, den Gegenstand in einzelnen Theilen nachzubilden und diese durch Löthung zu vereinigen, da hierbei leicht der Gegenstand zerstört werden könnte.

Galvanoplastische Statuen ꝛc.

Galvanoplastische Matrizen von Gypsfiguren lassen sich dadurch erlangen, daß man zunächst die Oberfläche derselben mit Wachs tränkt, oder lackirt, dann mit Graphit überbürstet und auf derselben in einem geeigneten galvanoplastischen Apparate einen ziemlich dicken Kupferüberzug erzeugt. Um die kupferne Hülle von dem Gypskern zu nehmen, schneidet man beide mitten durch und nimmt den Gyps heraus, entweder ganz oder in Stücken. Die beiden Kupfertheile werden dann wieder zusammengesetzt, an ihrer Außenseite mit Wachs überzogen und durch umgewickeltes Band fest und sicher mit einander vereinigt, um als Matrize zu dienen.

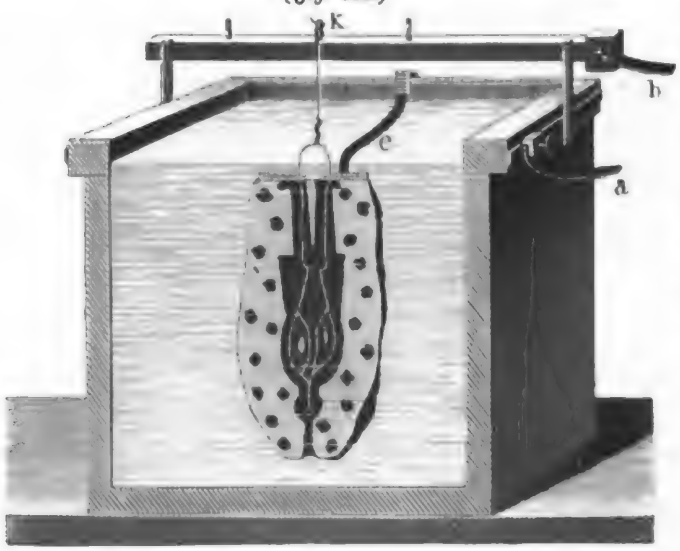
Auch Gyps, Gutta-Percha, Leim, Stearin u. s. w. lassen sich auf diese Weise anwenden. Die beiden Hälften der Form müssen im Innern mit Graphit oder einem andern leitenden Pulver überzogen werden.

Die Erzeugung eines galvanoplastischen Niederschlages in derartigen Hohlformen hat jedoch mancherlei Schwierigkeiten. Die Lösung, welche unter dem Einfluß des Stromes Kupfer ablagern soll, muß, da sie sich fortwährend erschöpft, im Innern der Form frei circuliren können; man bringt deshalb oben und unten Löcher an, welche diese Circulation gestatten. Den-

Digitized by Google

noch hat es Schwierigkeiten, einen überall gleichmäßig dicken Niederschlag zu erzeugen. Am vollkommensten ist dies von Lenoir erreicht worden. Derselbe stellt die Matrizen in 2 Hälften aus einem Gemisch von 10 Theilen Gutta-Percha, 4 Theilen Schweinefett und 3 Theilen Harz dar, welches dehnbarer und elastischer ist, als reine Gutta-Percha. Zuerst wird um die Hälfte der abzuformenden Statuette Gyps gegossen; nachdem derselbe fest geworden, bringt man hier und da in einiger Entfernung vom Original an demjenigen Theile der Gypsoberfläche, welche später mit der zweiten Formhälfte verbunden werden soll, Grübchen an. Hierauf wird die oben beschriebene auf beinahe 100° C. erwärmte Formmasse auf die nicht mit Gyps überzogene Hälfte des Originals aufgetragen und diese durch bloßes Drücken mit der Hand abgeformt. Nachdem das Original so zur Hälfte mit Gyps und zur Hälfte mit Gutta-Percha überzogen und letztere erstarrt ist, zerbricht man den Gyps und nimmt ihn ab. Die jetzt entblößte Hälfte wird dann auf dieselbe Weise mit Gutta-Percha überzogen wie die andere. Nach dem Erkalten lassen sich die beiden Hälften leicht abnehmen und vermöge der Marken, welche auf der einen Formhälfte erhaben, auf der andern vertieft sind, vollkommen passend vereinigen; vorher jedoch wird die innere Fläche derselben, wo der Kupferniederschlag entstehen soll, mit Graphit leitend gemacht. Der zur Darstellung des Kupferniederschlags in dieser Hohlform dienende galvanoplastische Apparat Fig. 242 besteht aus einem hölzernen mit einem guten Firniß ausgestrichenen Kasten, welcher mit Kupfervitriollösung gefüllt ist. In diesem hängt die Hohlform, deren Graphitüberzug durch den Kupferstreifen e mit einem um den Rand des Kastens gelegten Metallstreifen, und durch a mit dem negativen Pol einer galvanischen Batterie verbunden ist. Im Innern der Form befindet sich ein leichtes Gerippe der Figur,

(Fig 242.)



aus geraden oder krummlinigen Platindrähten bestehend, welche annähernd deren Umrisse geben und in möglichst gleicher Entfernung von der Graphitschicht bleiben, ohne dieselbe jedoch zu berühren. Wo eine Berührung zu befürchten wäre, wird der Draht mit Wachs oder Gutta-Percha überzogen. Alle diese Drähte sind dann an dem obern Ende zu einem Bündel vereinigt, welches bei K an einer metallenen Stange befestigt ist; letztere steht durch den Kupferstreifen b mit dem positiven Pole der Batterie in Verbindung. Während sich auf dem Graphit eine sehr gleichmäßige Kupferschicht bildet, entwickelt sich Sauerstoff in kleinen Bläschen an dem Platindraht und in der Flüssigkeit bleibt Schwefelsäure zurück. In der Form befinden

Digitized by Google

sich oben und unten Oeffnungen, um während der Fällung des Metalles eine Circulation der Auflösung herzustellen. Da nämlich die Flüssigkeit innerhalb der Matrize durch die Ausscheidung des Kupfers spezifisch leichter wird, so steigt sie in die Höhe und läuft durch die obere Oeffnung aus; die untere Flüssigkeit steigt ebenfalls in die Höhe, um jene zu ersetzen. Diese Bewegung wird durch die Gasentwickelung am Platindraht noch befördert. Um die Lösung concentrirt zu erhalten, bringt man in das Bad außerhalb der Form Kupferoxyd, welches sich in der überschüssigen Schwefelsäure auflöst. — Lenoir hat nach dieser Methode kleinere Statuen bis zu 3 Fuß Höhe ausgeführt, deren Kupferniederschlag überall ganz gleichmäßig dick ist.

Ein anderes Verfahren, um auf galvanoplastischem Wege Hohlformen zu erzeugen, das sich aber nicht sowohl zur Vervielfältigung von Kunstwerken, als zur einmaligen Darstellung, etwa für monumentale Zwecke eignet, besteht darin, daß der Gegenstand zuerst aus Wachs, oder besser aus einem Gemisch von Wachs und Harz, modellirt wird; dies Modell wird durch Graphit leitend gemacht und auf seiner Oberfläche mittelst eines schwachen Stromes ein möglichst gleichmäßiger Kupferniederschlag erzeugt. Sobald dieser etwa Papierdicke erlangt hat, bringt man die Figur in heißes Wasser, wodurch das Wachs schmilzt und ausfließt. Die jetzt entstandene Hohlform wird nun im Innern sorgfältig vom Wachs gereinigt, indem man sie mehrmals abwechselnd mit Kalilauge und Alkohol, und zuletzt mit reinem Wasser ausspült. Um nun dieser zarten Form die nöthige Festigkeit zu geben, läßt man, nachdem die Außenseite mit Wachs überzogen worden ist, das Kupfer auf die vorherbeschriebene Weise im Innern sich ablagern.

Galvanische Vergoldung.

Die älteste, schon den Aegyptern und Hebräern bekannte Methode der **Vergoldung** bestand darin, daß man auf den blank geputzten und gut polirten Gegenstand Blattgold aufklebte und dies mit einem glatt geschliffenen Polirstahl oder Achat aufdrückte und polirte. Um eine einigermaßen dauerhafte Vergoldung zu erlangen, mußten wohl 40 — 50 Goldblättchen nach und nach aufgetragen werden. Bei der wenigstens im ersten Jahrhundert unserer Zeitrechnung bekannten und noch hier und da angewandten Feuervergoldung wird der zu vergoldende, metallene Gegenstand sorgfältig gereinigt, sodann mit Goldamalgam, einer Auflösung von Gold in Quecksilber, bestrichen und einer mäßigen Glühhitze ausgesetzt, wobei sich das Quecksilber verflüchtigt und das Gold in einer zusammenhängenden Schicht auf der Oberfläche zurückbleibt. Beide Methoden sind so umständlich als unvollkommen, und die Quecksilberdämpfe höchst nachtheilig für die Gesundheit der Arbeiter. Dagegen ist es mit Hülfe des galvanischen Stromes leicht, eine schöne, vollkommen gleichmäßige, beliebig dicke Goldschicht dauerhaft auf fast allen Metallen, namentlich Kupfer, Messing, Neusilber, Silber und Platin, zu befestigen.

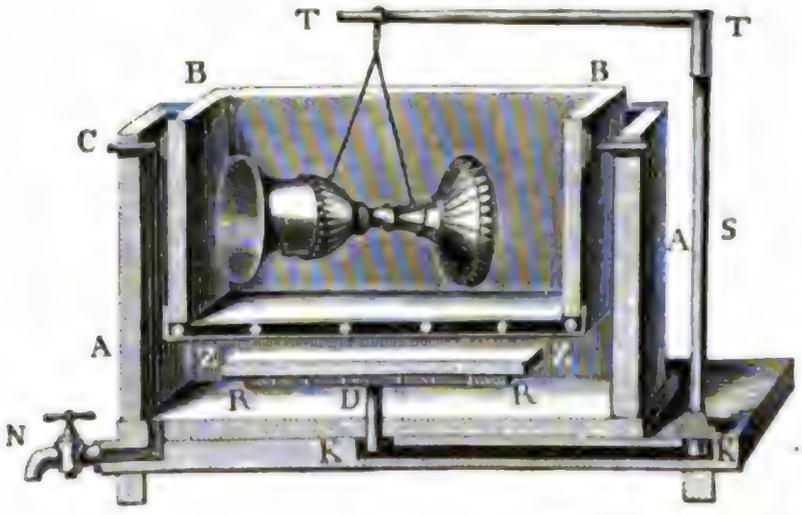
Das Verdienst, die Vergoldung mittelst des galvanischen Stromes zuerst angeregt zu haben, gebührt de la Rive, welcher sein allerdings noch unvollkommenes Verfahren 1840 publicirte. Die von ihm angewandte Vergoldungsflüssigkeit, eine sehr verdünnte Auflösung von Gold in Königswasser (einem Gemenge von Salzsäure und Salpetersäure), lieferte eine Vergoldung von unschönem Ansehen und geringer Haltbarkeit. Weit bessere Resultate liefert die von Elkington angegebene Auflösung von Kaliumgoldcyanür, welche man sich auf folgende Weise verschaffen kann: Gold wird in Königswasser gelöst, die Lösung vorsichtig zur Trockne verdampft, der Rückstand,

Digitized by Google

Chlorgold, in Wasser gelöst und mit einer wässerigen Auflösung von Cyankalium vermischt. — In galvanoplastischen Instituten verschafft man sich Goldauflösungen leicht durch Anwendung des galvanischen Stromes. In eine Auflösung von Cyankalium wird ein gewogenes Goldblech eingetaucht, welches mit dem positiven Pole einer galvanischen Batterie in Verbindung steht. Außerdem steht in der Lösung eine mit derselben Flüssigkeit gefüllte Thonzelle, in welcher sich ein Kupferblech befindet. Dieses wird mit dem negativen Pole der Batterie verbunden. Bei dieser Richtung des Stromes wird der negative Bestandtheil der Lösung, das Cyan, von der positiven Goldplatte angezogen und löst dieselbe auf, und zwar um so leichter, je wärmer die Flüssigkeit ist. Durch Abwägen der Goldplatte vor und nach dem Versuche erfährt man den Goldgehalt der Flüssigkeit.

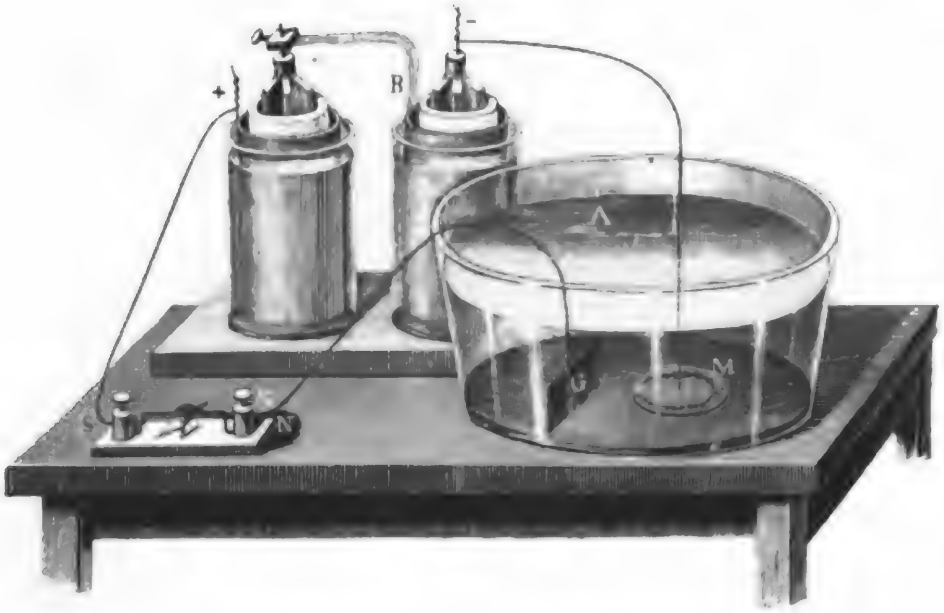
Eine zweckmäßige Form des Vergoldungsapparates hat Elsner angegeben. In dem größern gut gefirnißten Kasten von Eichenholz A A Fig. 243 ist der Boden durchbohrt und ein Kupferstab D so eingekittet, daß er nach unten etwa 1 Zoll, nach oben 1 — 2 Zoll hervorsteht. Derselbe trägt eine Art Rost R von Kupfer, auf welchem eine gegossene Zinkplatte Z Z liegt. Der Kupferstab D taucht mit seinem untern Ende in einen gebohrten Canal K K, welcher mit Quecksilber gefüllt ist, und steht durch diesen in leitender Verbindung mit dem senkrecht aufsteigenden Kupferstabe S, welcher oben einen beweglichen horizontalen Arm T T trägt, um den zu vergoldenden Gegenstand daran zu hängen. Der innere Kasten B B ist zur Aufnahme der Goldlösung bestimmt; der Boden ist mit Pergament oder starker Rindsblase bespannt, welchem durch einen Rost von Holzleistchen und über diese gespannte Darmsaiten eine größere Festigkeit gegeben ist. — Beim Vergolden wird der äußere Kasten A mit einer gesättigten Kochsalzlösung oder mit sehr verdünnter Schwefelsäure, der innere Kasten B bis zum gleichen Niveau mit der Goldlösung gefüllt, und der sorgfältig gereinigte Gegenstand so eingehängt, daß er sich etwa $^1/_2$ Zoll von dem Boden des Kastens befindet, aber weder diesen, noch die Wände des Kastens berührt. Von Zeit zu Zeit muß derselbe herausgenommen und mit einer nassen Bürste, die in gepulverten Weinstein getaucht ist, abgebürstet werden. Es zeigt sich eine schöne und dauerhafte Vergoldung, welche glänzend oder matt ausfällt, je nachdem die vergoldete Fläche vor dem Einhängen polirt oder matt gebrannt war, und deren Dicke durch die Gewichtszunahme des Gegenstandes bestimmt werden kann. Die Vergoldungsflüssigkeit wird nach und nach vollständig erschöpft, wobei ein belästigender und schädlicher Geruch von Cyanwasserstoff oder Blausäure sich entwickelt.

(Fig. 243.)



Digitized by Google

(Fig. 244.)



In dem Apparate Fig. 244 ist der letztere Uebelstand vermieden und die Goldlösung behält ihre Concentration. Der Sitz der electromotorischen Kraft ist hier die Batterie B, welche durch Hinzufügen von Elementen beliebig verstärkt werden kann. Die Glasschale A enthält die Vergoldungsflüssigkeit; in ihr befindet sich der zu vergoldende Gegenstand M und das Goldblech G, ersterer mit dem negativen, letzteres mit dem positiven Pole der Batterie verbunden. Während sich das Gold auf M niederschlägt, löst sich von G genau die gleiche Menge Gold auf, und man kann somit aus der Gewichtsabnahme dieses Bleches die Stärke der Vergoldung ganz genau bestimmen. Es ist durch genaue Versuche nachgewiesen worden, daß unter sonst gleichen Umständen in gleichen Zeiten die gleiche Menge Gold niedergeschlagen wird. Je höher die Temperatur der Goldlösung ist, desto geringer ist die Anzahl der anzuwendenden Elemente. Ein kleiner Gegenstand kann mit zwei Daniell'schen Elementen in wenigen Minuten vergoldet werden, wenn man die Goldlösung auf $80-90^0$ C. erwärmt.

Sollen einzelne Stellen des Gegenstandes vor der Ablagerung des Goldes geschützt werden, so überzieht man diese mit einem harzigen Deckgrund, der nach Elsners bewährter Vorschrift am besten aus einer Auflösung von 2 Theilen Asphalt und 1 Theil Mastix in der hinreichenden Menge Terpenthinöl besteht und mit einem feinen Pinsel warm aufgetragen wird. Nach geschehener Vergoldung läßt sich dieser Deckgrund mit Terpenthinöl und Alkohol leicht abwaschen.

Will man bloß das Innere eines Gefäßes, z. B. eines silbernen Kelches, vergolden, so verbindet man einen um den Kelch geschlungenen Metalldraht mit dem negativen Pole einer Batterie, gießt in die zu vergoldende Höhlung die erwärmte Goldlösung und taucht in diese ein mit dem positiven Pole verbundenes Goldblech, das den Kelch nicht berühren darf. Um Gegenstände von Eisen oder Stahl zu vergolden, müssen dieselben vorher verkupfert werden, da das Gold nicht unmittelbar auf denselben haftet.

Digitized by Google

Die galvanische Vergoldung hat vor der Feuervergoldung so entschiedene Vorzüge, daß die letztere bald völlig verdrängt sein wird; sie ist bequemer, weit billiger und gefährdet nicht die Gesundheit des Arbeiters. Fein gravirte Flächen können nicht im Feuer vergoldet werden, ohne daß die Gravirung verwischt wird, bei der galvanischen Vergoldung leidet auch die zarteste Gravirung nicht im mindesten. Da das goldhaltige Quecksilber vorzugsweise die Vertiefungen des zu vergoldenden Gegenstandes ausfüllt, so erhalten diese Stellen bei der Feuervergoldung den stärksten Goldüberzug; bei der galvanischen Vergoldung dagegen werden am stärksten die hervorragenden Stellen vergoldet, da diese eine geringere Entfernung von der positiven Polplatte haben. Es leuchtet ein, daß auch dieser Umstand zu Gunsten der galvanoplastischen Vergoldung spricht, da die Erhabenheiten vorzugsweise der Abnutzung ausgesetzt sind.

Galvanische Versilberung.

Die früheren Methoden der **Versilberung** waren ebenso schwierig und unvollkommen, wie die der Vergoldung. Früher wurden Silberblättchen aufgetragen und mit dem Polirstahl festgedrückt; später wandte man, um eine dauerhaftere Versilberung zu erlangen, plattirtes Kupferblech an, welches dadurch erzeugt wurde, daß man auf ein dickes Kupferblech ein dünnes Silberblech legte und beide dadurch vereinigte, daß man sie zusammen unter starkem Drucke zwischen polirten Stahlwalzen passiren ließ, bis der Silberüberzug die beabsichtigte Dicke hatte. Aus diesem Blech wurden dann die einzelnen Theile mittelst schwerer Stahlstempel (sogen. Stanzen) erzeugt und durch Löthung vereinigt. Die einfachsten Gegenstände mußten aus vielen Stücken zusammengesetzt werden; beim Stanzen sowohl, als beim Löthen, war die größte Vorsicht nöthig, um den Silberüberzug nicht zu beschädigen. Der Fabrikant mußte darauf halten, die vorhandenen Muster möglichst auszubeuten und ging schwer dazu über, neue Stempel anzuschaffen. Diese Fesseln sind durch die galvanoplastische Versilberung gebrochen und seit ihrer Entdeckung hat sich auf diesem Gebiete der bildenden Kunst eine früher nie gekannte Reichhaltigkeit der Formen entwickelt.

Die Versilberungsflüssigkeit, Silbercyankalium, wird auf ähnliche Weise dargestellt, wie die eben beschriebene Goldlösung. Das Silber wird in Salpetersäure gelöst, wobei ein Ueberschuß der letzteren vermieden werden, also ein Rest Silber ungelöst bleiben muß. Zu der klaren Lösung setzt man Cyankalium, so lange noch ein weißer Niederschlag entsteht. Dieser Niederschlag wird durch Filtration von der Flüssigkeit getrennt und nachdem er gut ausgewaschen, in Cyankalium gelöst. Gewöhnlich wird aber die Silberlösung mit Hülfe der galvanischen Batterie auf dieselbe Weise dargestellt, welche wir bei der Vergoldung beschrieben haben.

Das Silber schlägt sich schwieriger nieder als das Gold, und nur mit Hülfe einer nicht zu schwachen Batterie, am besten auf Kupfer, Messing und Neusilber. Die daraus angefertigten Gegenstände müssen vollkommen rein sein und werden zu diesem Zwecke abwechselnd in Laugen und verdünnte Säuren eingetaucht. Das Anfassen mit der bloßen Hand muß wie bei der Vergoldung vermieden werden. Vor dem Einbringen in das Silberbad wird der mit verdünnter Salpetersäure geätzte Gegenstand kurze Zeit in eine Lösung von salpetersaurem Quecksilberoxydul eingetaucht, wodurch sich die Oberfläche mit einer sehr dünnen Quecksilberschicht überzieht, welche das Anhaften des Silberniederschlages vermittelt. Derselbe fällt in der Regel matt aus; um ihn glänzend zu haben, läßt man ihn hinreichend stark werden und polirt

Digitized by Google

dann. Merkwürdiger Weise bewirkt ein äußerst geringer Zusatz von Schwefelkohlenstoff die sofortige Entstehung einer glänzenden Versilberung, eine zufällig entdeckte Eigenschaft dieses Stoffes, die auch dem Chlorschwefel zukommen soll, welche aber bis jetzt noch nicht hat erklärt werden können.

Wenn abgenutzte versilberte Gegenstände mit einem neuen Silberüberzuge versehen werden sollen, so muß die frühere Versilberung vorher vollständig fortgeschafft werden; dies geschieht am besten durch die Batterie, indem man den gut gereinigten Gegenstand mit dem positiven Pole verbindet und in das Silberbad bringt, während als negative Polplatte ein Silberblech angewandt wird. Sobald sich die Versilberung aufgelöst hat, werden die Poldrähte gewechselt, ohne daß man den Gegenstand aus dem Bade nimmt.

Galvanische Verkupferung.

Obwohl die Abscheidung eines zusammenhängenden **Kupfer**-Ueberzuges aus dem Kupfervitriol ganz leicht gelingt, wenn die leitende Oberfläche aus einem solchen Körper besteht, welcher in Berührung mit Kupfer negativ electrisch wird, z. B. Graphit, Gold, Silber u. s. w., so ist es doch unmöglich, mit der Lösung dieses Salzes einen fest anhaftenden, zusammenhängenden Ueberzug auf Metallflächen zu erzeugen, welche aus einem unedleren Metalle, z. B. Zink, Eisen oder Stahl bestehen. Taucht man eine blanke Messerklinge nur einen Augenblick in Kupfervitriollösung, so färbt sie sich zwar sogleich roth, indem sich metallisches Kupfer niederschlägt; aber die Oberfläche des Messers wird angegriffen und die Klinge, wie man sich leicht überzeugen kann, nach und nach vollständig aufgelöst, indem für das abgeschiedene Kupfer eine entsprechende Menge Eisen eintritt*). Da die Haltbarkeit metallischer Ueberzüge wesentlich von der Reinheit der Fläche abhängt, auf welche dieselben niedergeschlagen werden, so ist nur eine solche Lösung brauchbar, welche diese Fläche nicht angreift. Der mittelst Kupfervitriol auf Stahl oder Eisen erzeugte Ueberzug ist bröcklig und läßt sich leicht abwischen.

Die besten Resultate hat man mit einer Lösung von Cyankupferkalium erhalten. Man stellt dieselbe am einfachsten dar, wenn man 2 Theile Kupfervitriol und 5 Theile Cyankalium, jedes für sich, in reinem Wasser löst und die Lösungen mischt. Zur Zersetzung dieser Flüssigkeit ist eine noch weit stärkere electromotorische Kraft erforderlich, als zur Abscheidung des Silbers aus der entsprechenden Lösung. Es muß eine sehr starke Batterie angewandt und die Kupferlösung auf 80—90° erwärmt werden. Als positive Polplatte dient ein Kupferblech. Sobald sich in diesem Bade ein dünner Kupferüberzug gebildet hat, werden die Gegenstände herausgenommen und gereinigt; die Verstärkung des Ueberzuges kann nun leicht in einer Lösung von Kupfervitriol vorgenommen werden, da die anhaftende dünne Kupferschicht den Gegenstand vor dem Angriff schützt. Gewöhnlich aber bedient man sich des Cyankupferkaliums bloß für solche Gegenstände, welche nachher vergoldet oder versilbert werden sollen, z. B. chirurgische Instrumente. Um größere eiserne Gegenstände, z. B. Maschinentheile, mittelst einer hinreichend dicken Kupferschicht gegen Oxydation zu schützen, ersetzt man nach Tailfer die erste schützende Kupferschicht durch eine Bleischicht, welche denselben Zweck erfüllt, und mehrere wesentliche Vortheile bietet, so daß dies Verfahren be-

*) Im Bergbau machte man hiervon schon längst vor der Entdeckung der Galvanoplastik Anwendung zur Gewinnung des sogenannten Cämentkupfers. Die Grubenwässer der Kupferminen enthalten häufig etwas Kupfervitriol aufgelöst. Legt man Eisenabfälle in solches „Cämentwasser", so schlägt sich das Kupfer metallisch nieder, und das Eisen löst sich auf.

Digitized by Google

reits im Großen Anwendung gefunden hat. Zur Darstellung des Bleibades wird Bleioxyd in Wasser aufgelöst, welches 10 Procent Aetzkali enthält. Aus dieser Auflösung, welche das Eisen durchaus nicht angreift, wird das Blei schon durch einen schwachen Strom niedergeschlagen und bildet eine zusammenhängende Schicht, auf welche sodann aus Kupfervitriol ein beliebig dicker Kupferüberzug niedergeschlagen werden kann. Das vorhergehende Verbleien ist weit billiger, als das Verkupfern mittelst Cyanlösung, sowohl wegen des geringeren Preises des Bleibades, als auch besonders wegen der schwächeren Batterie; auch fällt die bei den äußerst giftigen Cyanverbindungen stets vorhandene Gefahr für die Arbeiter weg.

Für die galvanische Abscheidung des Platins hat man bis jetzt keine Lösung auffinden können, aus welcher dieses Metall als hinreichend dauerhafter Ueberzug erhalten werden könnte, so wünschenswerth es für die chemische Praxis wäre, wenn man dieses durch seine Unangreifbarkeit gegen die meisten chemischen Agentien ausgezeichnete, aber sehr theure Metall durch platinirtes Kupfer ersetzen könnte.

Die übrigen Metalle, welche bis jetzt durch den galvanischen Strom aus ihren Lösungen haben niedergeschlagen werden können, übergehen wir hier, da dieselben kein besonderes Interesse bieten. Doch glauben wir die interessanten Beobachtungen erwähnen zu müssen, welche Gore bei der galvanischen Abscheidung des Antimons machte. Dieses Metall kann aus seiner salzsauren Lösung schon durch einen sehr schwachen Strom als eine zusammenhängende Masse erhalten werden, die dem polirten Stahl an Glanz nahe kommt. Ritzt man dies galvanisch gefällte Antimon mit einem harten Gegenstande, z. B. mit einer Feile, so zerspringt dasselbe unter Feuererscheinung und Explosion; die Stücke sind glühend*). Läßt man die negative Platte, an welcher sich das Antimon ablagert, nur zur Hälfte in die Flüssigkeit eintauchen, so scheidet sich das Metall nur an der Oberfläche des Bades aus und wächst in Gestalt eines Astes nach der positiven Polplatte hin, bis es dieselbe erreicht.

Antimon.

Die **Anwendungen** der Galvanoplastik sind höchst mannichfaltig. Die vollkommen treue Nachbildung von seltenen Medaillen, Siegeln u. s. w. ist für die Kunst- und Alterthumsforscher von größter Wichtigkeit, da diese Copieen offenbar ein viel treueres Bild geben als die besten Abbildungen. Noch größere Vortheile verspricht die Anwendung zur Darstellung von Monumenten statt des Metallgusses, wie wir es oben (S. 369) beschrieben haben. Nach dem gewöhnlichen Verfahren arbeitet der Künstler von einer Statue, die er in Metallguß darstellen will, zuerst ein Modell aus Thon, nimmt darüber eine Hohlform aus Gyps und mittelst der letzteren wiederum aus Gyps ein zweites Modell, welches nach einer nochmaligen sorgfältigen Ueberarbeitung zur Darstellung der Hohlform aus Formsand dient, in welche das geschmolzene Metall eingegossen werden soll. Allein das Metall füllt die Sandform nur unvollkommen aus; die Statue muß zu ihrer Vollendung ciselirt, d. h. mehrfach überarbeitet und ausgebessert werden, bis eine ganz neue Oberfläche entstanden ist. Die Herstellung der Sandform setzt viele schwierige und mühsame Arbeiten voraus; das Gießen erfordert eine sehr

Monumente.

*) Bei genauerer Untersuchung hat sich gezeigt, daß der abgeschiedene Körper nicht reines Antimon ist, sondern Antimonwasserstoff enthält, und daß diesem Stoffe die Explosion zuzuschreiben ist.

Digitized by Google

große Metallmasse, einen Schmelzofen, Brennmaterial und ist eine beschwerliche, nicht gefahrlose Arbeit, welche leicht mißlingen kann, und besonders das Ciseliren nimmt stets viel Zeit in Anspruch und erheischt eine große Geschicklichkeit. Viel leichter und einfacher ist das oben beschriebene galvanoplastische Verfahren; die feinste Ueberarbeitung kann bereits an dem Wachsmodell vorgenommen werden; die galvanoplastische Nachbildung ist vollkommen getreu und sie erfordert bei weitem weniger Material, da man der hohlen Figur eine ganz beliebige Wandstärke geben oder auch dieselbe mit einem leichter flüssigen Metall, z. B. Zink, nachträglich ausfüllen kann, ohne daß sich dabei die Kupferhülle verändert. Es ist daher mit Sicherheit vorauszusehen, daß die Anwendung der Galvanoplastik zu monumentalen Zwecken den Metallguß verdrängen wird.

Bijouterieen, Ornamente ꝛc.

In der galvanoplastischen Anstalt von Ch. Christofle zu Paris werden massive Kunstgegenstände von ausgezeichneter Schönheit und Feinheit fabrikmäßig dargestellt, indem man von den fein ciselirten und gravirten Modellen Gutta-Percha-Abdrücke nimmt, in diesen eine dünne Kupferschicht galvanisch niederschlägt, die Vertiefungen derselben auf der Rückseite mit Messing ausfüllt, die verschiedenen das Ganze bildenden Theile durch Hartloth vereinigt, und das Ganze galvanisch vergoldet oder versilbert. Es werden dabei die sehr kostspieligen stählernen Matrizen, welche in Bezug auf die Vollkommenheit der Arbeit immer viel zu wünschen übrig lassen, umgangen. Von drei Arbeitern werden dort mit geringen Kosten prächtige Tafelaufsätze mit der reichsten Ornamentirung ausgeführt, welche außerdem die Arbeit eines Formers, eines Gießers, eines Gold- oder Silberschmieds, eines Planirers, eines Ciseleurs und eines Graveurs erfordert haben würden. Dabei geben diese massiven und sehr dauerhaften Gegenstände das Modell weit genauer wieder, als die künstlerische Hand des geschicktesten Ciseleurs und Graveurs dies nur entfernt im Stande wäre.

Die schönsten Nachbildungen der Natur lassen sich dadurch erhalten, daß man Pflanzen, Blätter, Blumen, Früchte, Insekten, kleine Vögel u. s. w. zuerst mit einer Graphitschicht und dann mit einem dünnen Kupferüberzuge versieht, welcher dann beliebig vergoldet oder versilbert werden kann.

Von großer Bedeutung ist die galvanoplastische Vervielfältigung von Maaßstäben, getheilten Kreisen und derartigen mathematischen Instrumenten, deren Eintheilung große Sorgfalt und viel Zeit erfordert.

Um Glasgefäße zu chemischen Zwecken, z. B. Kochfläschchen, Retorten, Kolben und dergl. über freiem Feuer zu erhitzen, ist es gut, dieselben an der Unterseite mit Kupfer zu überziehen. Sie werden mit Flußsäure matt geätzt, mit Graphit überstrichen und dann galvanoplastisch verkupfert.

Druckplatten.

Die größte Wichtigkeit hat aber die Galvanoplastik für die Darstellung von Druckplatten aller Art. Nach dem gewöhnlichen Verfahren werden die Matrizen zum Guß der Buchdruckerlettern dadurch hergestellt, daß man die Typen in Stahlstempel schneidet, diese in Kupfer einschlägt und in letztere das Schriftmetall eingießt; solche kupferne Matrizen lassen sich aber sehr leicht galvanoplastisch erzeugen, indem man über die Bleitypen galvanische Kupfermatrizen bildet.

Stereotypplatten von weit größerer Haltbarkeit und Schärfe als nach dem bisherigen Verfahren stellt man dadurch her, daß man die ganze zu copirende Schriftseite in Gutta-Percha abdrückt, die dadurch erhaltene Matrize, nachdem sie durch Graphit leitend gemacht wurde, mit einem galvanischen

Digitized by Google

Kupferüberzuge versieht und denselben dann durch Ausgießen mit Schriftmetall verstärkt.

Kupferstichplatten.

Man zieht es jetzt allgemein vor, die für den Kupferstich bestimmten Platten galvanoplastisch darzustellen, anstatt mittelst des Walzwerkes, da letztere sehr oft fehlerhafte Stellen haben, welche erst während der Bearbeitung zum Vorschein kommen und dann die ganze Arbeit des Künstlers vergeblich machen. Die galvanoplastisch niedergeschlagenen Kupferplatten dagegen sind vollkommen gleichartig und stehen bei richtiger Leitung des Prozesses den gewalzten an Härte durchaus nicht nach. Auch erfordern sie zur Darstellung, trotz der Langsamkeit des galvanischen Prozesses, nicht mehr Zeit und weit weniger Arbeit als die gewalzten Platten, da die Politur derselben erspart wird. Von ganz besonderer Wichtigkeit aber ist die Vervielfältigung von bereits gestochenen Platten. Bekanntlich leiden die Kupferplatten durch den Druck; daher der hohe Preis der ersten Abdrücke avant la lettre. Durch die Galvanoplastik ist man in den Stand gesetzt, die Originalplatte beliebig oft mit vollkommener Schärfe zu copiren und diese Copieen zum Drucke zu verwenden, also eine unbegrenzte Anzahl vollkommen scharfer Abdrücke zu liefern, ohne daß das Original abgenutzt wird. Es wird nämlich von dem gestochenen Original der Kupferplatte, nachdem sie vorher mit einer ganz dünnen Silberschicht überzogen wurde, ein galvanischer Niederschlag gebildet, diese so erhaltene kupferne Matrize wird wieder versilbert und darauf dann eine neue, der gestochenen Original-Kupferplatte ganz getreu nachgebildete und zum Abdruck taugliche galvanische Kupferdruckplatte hergestellt. Auch Correcturen auf Kupferplatten, wie sie z. B. beim Landkartendruck häufig vorkommen, und früher mit großen Kosten verknüpft waren, lassen sich auf galvanoplastischem Wege leicht herstellen. Nach George überzieht man die Platte mit Wachs, läßt nur die gut gereinigte und mit einem Grabstichel blank geschabte fehlerhafte Stelle frei und umgiebt letztere mit einem hohen Rande von Wachs. In das dadurch entstehende kleine Gefäß gießt man Kupfervitriol und stellt eine mit verdünnter Schwefelsäure gefüllte kleine Thonzelle hinein, in welcher ein Stückchen Zink sich befindet. Wird dieses durch einen Kupferdraht mit der Platte verbunden, so lagert sich auf der zu corrigirenden Stelle Kupfer ab und füllt die darauf vorhandene Gravirung aus. Wenn der Ueberzug dick genug ist, wird die Platte gereinigt, die mit Kupfer überzogene Stelle abgeschliffen, polirt und aufs Neue gravirt.

Galvanographie.

Die von dem Professor F. von Kobell in München erfundene Galvanographie ist eine Methode zur galvanoplastischen Erzeugung von Druckplatten über Zeichnungen in Tuschmanier. Veranlassung zu dieser Erfindung war die Beobachtung, daß der galvanische Kupferniederschlag über die Grenzen der leitenden Fläche hinaus sich auch auf nichtleitende Flächen fortsetzt und dieselben eben so getreu copirt. Der Künstler führt seine Zeichnung auf einer versilberten Kupferplatte mit dem Pinsel aus, indem er ein mit Firniß angeriebenes feines Pulver, z. B. Eisenroth, aufträgt. Das Malen geschieht in der Art, daß die blanken Stellen des Metalls die höchsten Lichter, die mehr oder weniger gedeckten die Schatten liefern. Bringt man die Platte, nachdem dieselbe vollkommen getrocknet ist, in den galvanischen Apparat, so lagert sich das Kupfer zuerst auf der Metallfläche ab, wächst aber sehr bald auch über die mit nicht leitender Farbe bedeckten rauhen Stellen hinweg und gibt dieselben aufs Vollkommenste wieder. Bleiben, wie es mitunter geschieht, einzelne Stellen auch nach längerer Zeit noch unbedeckt, so bestreicht man

Digitized by Google

dieſelben mittelſt eines Pinſels nachträglich noch mit Graphit, worauf ſie ſich ſehr bald mit Kupfer überziehen. Iſt die Kupferplatte dick genug, ſo wird ſie aus dem Apparate genommen, von der Originalzeichnung getrennt, mit Baumwolle und Schwefeläther gereinigt und mit Wiener Kalk oder einem derartigen Polirmittel geputzt. In der Druckerpreſſe wird ſie wie eine geätzte Platte behandelt. Die aufgetragene Schwärze haftet in den vertieften und rauhen Schattenſtellen der Zeichnung, während ſie ſich an der blanken Metallfläche, welche den Lichtern entſpricht, abwiſchen läßt. Wird alſo gegen die eingeſchwärzte Kupferplatte durch eine geeignete Preſſe ein Papier angedrückt, ſo nimmt dies die Schwärze an und gibt ein Bild, welches den Eindruck einer getuſchten Zeichnung macht. Einige Münchener Künſtler, beſonders Hanfſtängl und Schöninger, haben ausgezeichnete Bilder galvanographiſch ausgeführt und durch den Druck veröffentlicht. Die Galvanographie hat vor dem gewöhnlichen Kupferſtich den großen Vorzug, daß die Zeichnung oder Schrift nicht umgekehrt gezeichnet zu werden braucht. Auch verliert die Originalzeichnung durch die Uebertragung Nichts von ihrem Charakter, wie dies bei gewöhnlichen Kupferſtichen mehr oder weniger der Fall iſt.

Auch die Darſtellung geätzter Druckplatten geſchieht am beſten auf galvaniſchem Wege. Nach dem gewöhnlichen Verfahren führt der Künſtler die Zeichnung auf einer gefirnißten Kupfer- oder Stahlplatte aus, indem er mit einer Radirnadel das Metall bloß legt. Hierauf wird die Platte mit verdünnter Salpeterſäure übergoſſen, welche das Metall an den entblößten Stellen auflöſt und dadurch Vertiefungen erzeugt, in denen nach Entfernung des Lacks die Druckerſchwärze haftet. Viel bequemer iſt es, und weit beſſere Reſultate werden erlangt, wenn man die radirte Platte als poſitive Polplatte in den galvaniſchen Apparat legt. Die Auflöſung erfolgt ganz gleichmäßig und ohne Entwickelung von ſalpetrigen Dämpfen; die radirten Stellen werden dabei niemals, wie beim Behandeln mit Säuren, unterfreſſen; die Aetzung kann nach Belieben an einzelnen Stellen der Platte durch Annäherung der negativen Polplatte verſtärkt werden. Galvaniſche Aetzung.

Devincenzi hat mit dem Namen Electrographie ein von ihm erfundenes Verfahren benannt, um erhaben geätzte Zinkplatten für die Buchdruckerpreſſe zu erhalten und durch dieſes weit leichtere Verfahren den Holzſchnitt zu erſetzen. Auf eine vorher gekörnte, d. h. rauh gemachte Zinkplatte wird die Zeichnung mittelſt fettiger lithographiſcher Kreide oder Tinte aufgetragen, hierauf die Zinkplatte mit Gummiwaſſer befeuchtet, welches auf der fettigen Zeichnung nicht haftet und letztere durch Terpenthinöl abgewaſchen, wie dies beim Präpariren des lithographiſchen Steines geſchieht. Nachdem das Gummi durch Waſſer entfernt iſt, trägt man mit einer Walze einen fettigen Firniß auf, welcher bloß auf der Zeichnung haftet. Nachdem derſelbe vollkommen getrocknet iſt, bringt man die Zinkplatte in eine Kupfervitriollöſung, ſtellt derſelben in geringer Entfernung eine gleichgroße Kupferplatte gegenüber und verbindet beide durch einen Kupferdraht. Die Zinkplatte wird durch den electrochemiſchen Prozeß an den nicht mit Firniß überzogenen Stellen angegriffen, während die gefirnißten Stellen ganz unverſehrt bleiben. Nach wenigen Minuten iſt das Relief ſo weit gediehen, daß davon eine große Anzahl von Abdrücken in der Buchdruckerpreſſe gemacht werden kann, da das Zink härter iſt als die Lettenmaſſe. Für Holzſchnitte iſt ein Zeichner und ein Graveur erforderlich, für die Zinkſtiche braucht man nur einen Zeichner. Electrographie.

Digitized by Google

Naturselbstdruck.

Eine der schönsten Anwendungen der Galvanoplastik ist der sogenannte Naturselbstdruck, durch welchen die verschiedenartigsten Gegenstände der Natur bis in das feinste mikroskopische Detail mit größter Naturwahrheit und Treue wiedergegeben werden. Das Verfahren ist folgendes: Um von einem Pflanzenblatt, einer Blüthe oder einem anderen Pflanzentheile einen Abdruck zu erzeugen, wird dieser Gegenstand zunächst zwischen Fließpapier eingepreßt und getrocknet. Nachdem dies geschehen, wird derselbe sorgfältig vom Papier abgezogen und eine Viertelstunde in Wasser gelegt, dann wieder auf die vorige Weise getrocknet und dieses Verfahren vier bis fünfmal wiederholt. Dadurch verlieren die Pflanzen alle löslichen Theile, und ihre Fasern gewinnen an Zähigkeit. Insecten können auf ähnliche Weise getrocknet und geebnet werden; Spitzen, Seidenzeuge u. dergl. bedürfen keiner weiteren Vorbereitung. Die geebneten und getrockneten Gegenstände werden dann auf eine glatte Bleiplatte gelegt, mit einer polirten Stahlplatte bedeckt und beide unter starkem Druck zwischen zwei Walzen durchgezogen. Dabei bildet sich auf der Bleiplatte ein vollkommen getreuer, vertiefter Abdruck. Dieser wird nun entweder galvanoplastisch oder auch durch Gutta-Percha copirt und von dieser Copie eine galvanoplastische Druckform erzeugt, welche die Vertiefungen der Bleiplatte als Vertiefungen wiedergibt und wegen ihres festeren Materials sich zum Druck eignet. Aus der Staatsdruckerei in Wien, deren Vorsteher, Regierungsrath Auer, diesen neuen und sehr wichtigen Zweig der Typographie vorzugsweise ausgebildet hat, sind ausgezeichnete Kunstwerke des Naturselbstdruckes hervorgegangen, welche für die beschreibende Naturwissenschaft von unschätzbarem Werthe sind und zu den schönsten Erwartungen berechtigen. Das vergleichende Studium der Nervation der Pflanzenblätter, welche für die Systematik der fossilen Pflanzenreste von besonderer Wichtigkeit ist, wurde erst durch den Naturselbstdruck möglich. Wir sahen Abdrücke von allerlei Pflanzentheilen*) und ganzen Pflanzen, besonders Moosen, Algen, Flechten und anderen Kryptogamen; von zarten Insecten, von Schlangenhäuten, Fischschuppen, von den Häuten kleiner Säugethiere, z. B. Fledermäuse, von fossilen Fischen u. s. w., welche zum Theil mit den natürlichen Farben gedruckt waren und nicht allein durch ihre Schönheit, sondern auch namentlich durch die Feinheit der Ausprägung, welche besonders beim Betrachten mit der Loupe hervortrat, einen überraschenden Eindruck machten.

Es ist gelungen, von Daguerreotypplatten (Lichtbildern auf Silber) galvanoplastische Copieen und sogar mittelst Aetzung Druckplatten zu erzeugen, die in einzelnen Fällen wohl gelungen sind.

Ein näheres Eingehen auf diese und noch manche andere, theils gelungene, theils in Aussicht gestellte Anwendungen der Galvanoplastik würde zu weit führen, da eine erschöpfende Darstellung außerhalb unseres Zweckes liegt.

---

*) Nach Mittheilung des Verlegers werden auch im zweiten Bande dieses Werkes, und zwar in der Abtheilung „Botanik", solche Proben von Naturselbstdruck gegeben.

Digitized by Google

Daguerreotypie und Photographie.

Einleitung.

Die Geschichte der Erfindungen zeigt eine große Verschiedenheit. Manche Entdeckungen wurden dem Menschengeschlechte wie ein unverhofftes Geschenk des Schicksals entgegengebracht; es bedurfte nur der Aufmerksamkeit und Umsicht des Beobachters, um die ihm entgegentretende Thatsache richtig zu verstehen und zu würdigen, und eine unabsehbare Reihe der nützlichsten Anwendungen eröffnete sich dem staunenden Blicke. Andere Erfindungen dagegen sind das Ergebniß jahrelanger, mühevoller Versuche. Es galt, das gestellte Problem mit angestrengtem Fleiß und unermüdlicher Ausdauer zu verfolgen, die sich entgegenstellenden Hindernisse zu beseitigen, und das Schritt für Schritt eroberte Terrain nach allen Seiten zu durchforschen und nach dem unverrückt vorschwebenden Ziele hin zu erweitern, ehe die errungenen Erfolge die aufgewandte Mühe belohnten. Zu den letzteren Erfindungen gehört unstreitig die Photographie, deren erste Anfänge bis zum Anfange des jetzigen Jahrhunderts zurückreichen*). Wedgwood machte bereits 1803 die ersten Versuche, die chemischen Wirkungen des Lichtes direkt zur Darstellung von Bildern, besonders zur Fixirung der schönen Bilder der Camera obscura und des Sonnenmikroskops zu benutzen. Seitdem hat eine Anzahl der tüchtigsten Physiker unausgesetzt und mit großer Vorliebe an der Lösung dieser Aufgabe gearbeitet, bis es den vereinten Anstrengungen des jüngeren Niepce und Daguerre's gelang, eine leichte Methode aufzufinden, durch welche jene Bilder in künstlerischer Vollendung leicht und rasch auf blanken Silberplatten dargestellt werden konnten. Die Schönheit und Treue dieser zierlichen Bilder erregte mit Recht das größte Aufsehen, und das Interesse dafür ist fortwährend gestiegen. Die Société d'Encouragement hat durch Aussetzung von ansehnlichen Preisen um die Förderung der neuen Kunst sich bedeutende Verdienste erworben. Physiker und Techniker haben an der Vervollkommnung und Ausbildung der Photographie mit großem Eifer gearbeitet; sie ist ein

*) Das Wort **Photographie** bedeutet nicht bloß jedes direkt durch das Licht dargestellte Bild (Lichtbild), sondern auch das Verfahren zur Darstellung eines solchen Bildes (Lichtmalerei). Gewöhnlich wird dieser Ausdruck aber in einem etwas engeren Sinne gebraucht, indem man die Lichtbilder auf Silberplatten, welche nach ihrem Erfinder **Daguerreotypen** genannt werden, ausschließt, und demnach unter Photographieen nur diejenigen Lichtbilder versteht, welche auf einer anderen Grundlage, (z. B. Papier, Eiweiß, Stärke, Leim, Collodium, Firniß u. s. w.) erzeugt sind. Dieser Sprachgebrauch ist jedoch nicht richtig, denn ein Daguerreotyp, d. h. ein nach Daguerre's Methode erzeugtes Bild ist ja auch ein Lichtbild, also die Daguerreotypie nur eine besondere Art der Photographie.

Digitized by Google

neuer Erwerbszweig geworden; jede Stadt von einiger Bedeutung hat ihre photographischen Ateliers; es gibt photographische Lehranstalten und Zeitschriften; jede Woche bringt neue Methoden und Verbesserungsvorschläge.

So einfach nun auch an sich die Manipulationen zur Darstellung eines Lichtbildes sind, so groß die Zahl der Physiker, Maler und Dilettanten ist, welche sich mit der Photographie beschäftigen, so unklar sind im Allgemeinen die Vorstellungen über die Natur der dabei vorkommenden physikalischen und chemischen Prozesse, von denen die Entstehung des Bildes abhängt; so schwierig ist auch für die Wissenschaft die theoretische Erforschung dieser Vorgänge, eben wegen der Empfindlichkeit und Unnahbarkeit der Platte.

Bevor wir die heutige Photographie näher in's Auge fassen, halten wir es daher für nöthig, unsern Lesern einige der wichtigsten chemischen Wirkungen des Lichts vorzuführen; wir wollen versuchen, dieselben, so weit ihr Wesen erforscht ist, im Anschluß an die im physikalischen Abschnitte dieses Werkes durchgeführte Vibrationstheorie des Lichts (S. 77) zu erklären, und das Verhältniß zwischen den optischen und chemischen Bildern der Camera obscura festzustellen. Wir hoffen, daß sich daraus das Verständniß der wichtigsten Vorgänge der Photographie ergeben werde.

Chemische Wirkungen des Lichts.

Manche Veränderungen, welche von dem chemischen Einflusse des Lichts herrühren, sind allgemein bekannt. Wir erinnern unsere Leser an das Bleichen der Leinwand im Sonnenlichte, an das Erbleichen mancher Kleiderstoffe, deren hervorragende Stellen mattere Farben bekommen, während in den vom Lichte weniger getroffenen Falten die Farbe länger ihre Frische behält; an die Farbenveränderungen, welche sich im Laufe der Zeit an den Wänden und Möbeln unserer Zimmer beobachten lassen, wenn dieselben an einigen Stellen vorherrschend beleuchtet, an anderen im Schatten waren. Besonders von Eichen- und Mahagoni-Holz ist es bekannt, daß dasselbe im Lichte sich dunkler färbt. Die meisten organischen Stoffe werden im Lichte heller, manche, namentlich die Fette, bekommen eine dunklere Farbe, wenn das Licht sie nicht bestrahlt. So werden Stearinkerzen gelb, wenn sie lange Zeit im Dunkeln liegen; ein weißer Oelanstrich wird im Dunkeln bräunlich gelb; aus demselben Grunde vergilbt die Wäsche im dunkeln Schranke, sofern sie nämlich noch eine Spur Seife enthält. Es ist bekannt, daß das Licht zum Leben der höheren Pflanzen unumgänglich nothwendig ist; gewisse chemische Prozesse des Pflanzenlebens, die Aufnahme von Kohlensäure, die Zerlegung derselben und die Ausscheidung des Sauerstoffs finden ohne die Mitwirkung des Lichtes nicht Statt; Pflanzen, denen man das Licht entzieht, bilden kein Blattgrün, bekommen eine gelblich weiße Farbe, werden krank und sterben ab.

Diese chemischen Prozesse, welche das Licht in organischen Körpern hervorruft, sind meist sehr verwickelt. Doch ist es wahrscheinlich, daß sowohl das Erbleichen der meisten Pflanzenfarben, als auch das Nachdunkeln der Hölzer auf einer Oxydation (Sauerstoff-Aufnahme) beruht. Diese Hölzer enthalten nämlich eigenthümliche organische Säuren, die unter dem Namen der Gerbsäuren bekannt sind und durchgängig ein großes Bestreben zeigen, mehr Sauerstoff aufzunehmen und damit neue Stoffe zu bilden, die sich durch ihre dunkle, braunschwarze Farbe charakterisiren.

Besser als bei diesen sehr complicirten und veränderlichen organischen Stoffen, lassen sich die durch das Licht bewirkten chemischen Veränderungen an den weit einfachern unorganischen Verbindungen erkennen. Manche

Digitized by Google

chemiſche Verbindungen zerfallen durch das Licht in ihre Beſtandtheile; ſo z. B. manche Oxyde und Salze der edlen Metalle. Goldoxyd wird durch das Licht in Sauerſtoff und metalliſches Gold zerlegt; die meiſten Silber- und Queckſilberverbindungen ſchwärzen ſich aus demſelben Grunde. Braunes Bleihyperoxyd wird, indem ein Theil ſeines Sauerſtoffs ausſcheidet, zu Mennige; rauchende Salpeterſäure verliert am Lichte gleichfalls einen Theil ihres Sauerſtoffs und verwandelt ſich dadurch theilweiſe in Unterſalpeterſäure, wobei ihre vorher gelbe Farbe in Rothbraun übergeht; Chlorſilber wird durch die Einwirkung des Lichtes raſch geſchwärzt, indem es einen Theil ſeines Chlors verliert; die gelbe Eiſenchloridlöſung wird durch Chlorverluſt zu faſt farbloſem Eiſenchlorür u. ſ. w. Um dieſe chemiſchen Scheidungen zu erklären, erinnern wir daran, daß das Licht aus Schwingungen beſteht, daß alſo an der Oberfläche eines beleuchteten Körpers durch die auftreffenden Lichtſchwingungen eine Aufeinanderfolge äußerſt feiner Erſchütterungen erregt werden muß, durch welche der chemiſche Zuſammenhang der Atome gelockert werden kann, ſofern zwiſchen denſelben eine geringe Anziehungskraft (chemiſche Verwandtſchaft) Statt findet. Sehen wir doch, daß ein Gebäude durch fortwährende, wenn auch leiſe, mechaniſche Erſchütterungen zum Einſturz gebracht wird. In der That ſtimmen alle genannten Subſtanzen darin überein, daß zwiſchen ihren Beſtandtheilen eine geringe chemiſche Affinität vorhanden iſt.

Auffallend iſt es, daß das Licht auf andere Stoffe ganz entgegengeſetzte Wirkungen ausübt. Wir ſehen, daß unter ſeinem Einfluſſe manche Miſchungen ſich in chemiſchen Verbindungen verwandeln, ſofern die nebeneinander liegenden Stoffe eine große chemiſche Verwandtſchaft beſitzen. Mengt man z. B. gleiche Raumtheile Chlorgas und Waſſerſtoffgas im Dunkeln in einer Glasglocke, ſo bleiben dieſelben ein bloßes Gemenge, ſo lange ſie vor dem Lichte geſchützt bleiben; ſetzt man dies Gemenge dem zerſtreuten, d. h. unregelmäßig reflektirten Tageslichte aus, ſo bemerkt man, daß allmählich ſowohl die gelblich grüne Farbe, als auch der penetrante Geruch des Chlorgaſes verſchwindet, es entſteht eine chemiſche Verbindung beider Stoffe, Chlorwaſſerſtoff, ein farbloſes Gas, das einen ganz anderen, nicht unangenehmen Geruch hat. Im direkten Sonnenlichte geht dieſe Verbindung ſo raſch und ſtürmiſch vor ſich, daß das Gas mit heftiger Exploſion die Glasglocke zertrümmert. Das Chlor kann unter Mitwirkung des Lichts das Waſſer in ſeine Beſtandtheile zerlegen: es verbindet ſich mit dem Waſſerſtoff zu Chlorwaſſerſtoffſäure und der Sauerſtoff des Waſſers wird abgeſchieden. Im Dunkeln findet dieſe Zerſetzung nicht Statt, und daher erhält man das Chlorwaſſer (Chlorgas in Waſſer gelöſt) aus den Apotheken in ſchwarzen, undurchſichtigen Glasfläſchchen zugeſchickt.

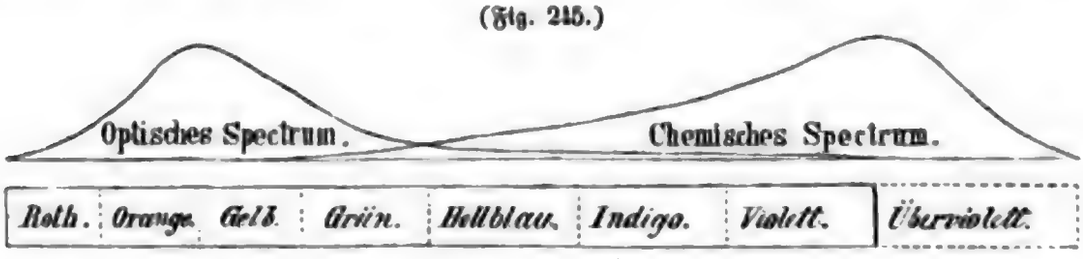
Dieſen und viele ähnliche Vorgänge, z. B. die am Lichte Statt findenden Oxydationen organiſcher Subſtanzen, kann man ſich erklären, wenn man annimmt, daß die Atome der unverbunden nebeneinander liegenden Stoffe vermöge der Schwingungen des Lichtes ſo gegeneinander bewegt, einander ſo nahe gebracht werden, daß nun die, nur in größter Nähe wirkſame, chemiſche Anziehung in Kraft tritt. Kleine mechaniſche Erſchütterungen können eine analoge Wirkung ausüben: wir ſehen, daß ein lockeres Pulver durch eine Reihenfolge kleiner Stöße ſich dichter zuſammenſetzt, daß alſo die mechaniſche Verbindung der einzelnen Körnchen inniger, feſter, die Conſiſtenz des Ganzen größer wird. Wir müſſen betreffs dieſer Vorgänge auf den chemiſchen Abſchnitt dieſes Werkes verweiſen; ſo viel glauben wir indeß bewieſen zu

Digitized by Google

haben, daß die chemischen Wirkungen des Lichtes, so entgegengesetzt sie auch sind, mit der Vibrationstheorie keineswegs im Widerspruch stehen, aus ihr vielmehr noch auf die ungezwungenste Weise sich erklären lassen.

Nicht alle Farben des Spectrums zeigen dieselbe chemische Kraft. Scheele setzte 1773 ein mit Chlorsilber überzogenes Papier der Wirkung des Sonnenspectrums (Fig. 89 S. 97) aus, und bemerkte, daß das Chlorsilber zuerst und am intensivsten im Violett, dann im Blau u. s. w., zuletzt im Roth geschwärzt wurde, und daß die rothen Lichtstrahlen nach 40 Minuten noch keine so große Schwärzung hervorzubringen vermochten, als die violetten in $^1/_4$ Minute. Seine Beobachtungen wurden später von Senebier, Berthollet, Rumford u. A. wiederholt und vervollständigt. Es bestätigte sich, daß die chemische Wirkung der verschiedenen Farben eben solche Verschiedenheiten zeigte, wie ihre Kraft zu leuchten und zu erwärmen, daß aber die am stärksten brechbaren Strahlen vom violetten Ende des Spectrums, obwohl sie auf die Netzhaut des menschlichen Auges nur eine schwache Wirkung ausüben, die größte chemische Intensität besitzen. Ritter beobachtete 1801, daß ein mit frischem Chlorsilber überzogener Papierstreif zuerst außerhalb des sichtbaren Spectrums, jenseit des Violett, geschwärzt wurde; die Wirkung setzte sich durch Violett und Blau fort und hörte im Grün allmählig auf. Im Gelb, Orange und Roth blieb das Chlorsilber auch nach längerer Zeit noch vollkommen weiß. Es ergab sich sogar, daß die weniger brechbaren Strahlen vom rothen Ende des Spectrums eine entgegengesetzte Wirkung ausübten, denn als Ritter den Versuch mit Chlorsilber wiederholte, welches durch kurze Einwirkung des Tageslichtes grau geworden war, färbte sich dasselbe im Roth sogar heller, während am violetten Ende die graue Farbe des Chlorsilbers immer dunkler wurde, eine Beobachtung, welche trotz des mehrfach dagegen erhobenen Widerspruchs durch neuere Erfahrungen bestätigt worden ist. Während wir also die größte Helligkeit im Gelb und Orange des Spectrums wahrnehmen, ist die chemische Wirkung dort sehr gering; dagegen ist sie am intensivsten am violetten Ende und erstreckt sich noch ziemlich weit darüber hinaus. Hieraus folgt, daß es jenseit des Violett noch stärker brechbare Strahlen gibt, für welche zwar die Netzhaut unseres Auges unempfindlich ist, deren Vorhandensein sich aber aus ihren chemischen Wirkungen ergibt. In Fig. 245 haben wir versucht, diese Intensitätsverhältnisse durch eine graphische Darstellung zu verdeutlichen. Die Curve der

(Fig. 245.)



optischen Intensität ist nach den photometrischen Messungen Fraunhofer's, die der chemischen Intensität nach Seebeck's Beobachtungen construirt, welcher die Versuche Ritter's wiederholte und auch auf farbige Gläser ausdehnte. Wie zu erwarten, fand derselbe die durch blaue und violette Gläser gegangenen Sonnenstrahlen besonders wirksam, während die rothen und gelben Gläser nur wenige chemisch wirksame Strahlen durchließen. Seebeck beobachtete auch, daß unter gewissen Umständen das Chlorsilber im rothen

Digitized by Google

Ende des Spectrums roth, im violetten Ende blau gefärbt wurde. Seine Versuche wurden von Herschel wiederholt und erweitert, welcher die verschiedene, zum Theil entgegengesetzte Wirkung der verschiedenen Spectralfarben sehr gründlich erforschte.

Daß auch die verschiedenen reflectirten Farben in Uebereinstimmung mit Ritter's und Seebeck's Beobachtungen eine ganz verschiedene Wirkung auf chemisch empfindliche Substanzen haben, welche mit der optischen Intensität keineswegs zusammenfällt, wird in den photographischen Ateliers täglich wahrgenommen; jeder Photograph weiß, daß die blauen und violetten Farben viel stärker auf eine empfindliche Platte wirken, als Gelb und Roth, und daß die roth und gelb gefärbten Gegenstände sich langsamer und matter abbilden. Lampen- oder Kerzenlicht, welches vorherrschend die chemisch unwirksamen Strahlen enthält, läßt sich daher eben so wenig zur Erzeugung von Lichtbildern benutzen, wie das röthlich gelbe Licht der Abenddämmerung, weil in beiden Fällen die chemischen Strahlen nur schwach vertreten sind.

Achromatismus.

Da die verschiedenen Farben bei der Brechung eine verschiedene Ablenkung erfahren, so ist mit jeder Brechung durch ein Prisma eine Zerstreuung des Lichtes nothwendig verbunden, wie dies in dem physikalischen Theile (S. 96 ff.) auseinander gesetzt ist. Wendet man statt des Prisma's eine Convexlinse an, die man sich gewissermaßen als ein in sich zusammengekrümmtes Prisma denken kann, welches seine brechende Kante ringsum liegen hat, so liegt der Vereinigungspunkt der stärker brechbaren violetten Strahlen näher an der Linse, als der Brennpunkt der am wenigsten brechbaren rothen Strahlen, und zwischen diesen beiden liegen die Brennpunkte aller übrigen Farben.

Eine einfache Linse gibt deshalb in der Camera obscura (S. 115) nirgends ein vollkommen scharfes optisches Bild, weil die von einem Punkte des Gegenstandes ausgehenden verschiedenfarbigen Strahlen sich nicht wieder in einem Punkte vereinigen; das deutlichste optische Bild wird in derjenigen Entfernung entstehen, wo sich die optisch wirksamsten, d. h. hellsten Strahlen vereinigen, also in der Entfernung, welche etwa der Brennweite des Orange entspricht. Allein hier entsteht keineswegs das deutlichste chemische Bild, vielmehr ist die Brennweite der chemisch wirksamsten Strahlen eine kürzere, weil dieselben stärker brechbar sind. Die durch die Farbenzerstreuung bewirkte Undeutlichkeit der optischen Bilder kann durch achromatische Linsen beseitigt werden, deren Zusammensetzung im physikalischen Abschnitt (S. 122 ff.) angegeben und erörtert ist. Da aber die chemisch wirksamsten Lichtstrahlen nur eine sehr geringe optische Wirkung haben, so wird eine optisch achromatische Linse noch nicht chemisch achromatisch sein. Die Erfahrung hat dies bestätigt. Man kann zwar die Krümmung der Flächen so berechnen, daß die Linsen auch die übervioletten Strahlen mit den übrigen vereinigen; allein die für diesen Zweck construirten Linsen geben nach den neuesten Erfahrungen keineswegs die schärfsten Bilder, vielleicht deshalb, weil die Strahlen vom rothen Ende des Spectrums eine entgegengesetzte chemische Wirkung haben, wie die violetten und übervioletten Strahlen, also die Einwirkung der letzteren zum Theil aufheben oder wenigstens verlangsamen. Zwar sind bei allen besseren photographischen Apparaten optisch achromatische Linsen durchgängig eingeführt, doch will Claudet bemerkt haben, daß bei richtiger Einstellung der Platte einfache, nicht achromatische Linsen die schärfsten photographischen Bilder geben. Nach diesen theoretischen Andeutungen, ohne welche ein Verständniß der durch das Licht hervorgerufenen chemischen Veränderungen

Digitized by Google

nicht wohl möglich ist, werfen wir, bevor wir die Photographie in ihrer heutigen Vollendung ins Auge fassen, einen Blick auf ihre historische Entwickelung.

Die ersten photographischen Versuche.

Wedgwood. Wir haben oben erwähnt, daß bereits zu Anfang dieses Jahrhunderts Wedgwood den Versuch machte, die zersetzende Einwirkung des Lichtes auf Silbersalze zur Darstellung von Lichtbildern zu benutzen. Er setzte ein mit salpetersaurem Silberoxyd getränktes Papier der Bestrahlung in der Camera obscura aus, doch erhielt er wegen der zu langsamen Zersetzung dieses Salzes keine deutlichen Bilder und gab seinen Versuch auf, indem er sich darauf beschränkte, Kupferstiche zu copiren. Zu diesem Zwecke bedeckte er das im Dunkeln präparirte Papierblatt mit der Bildseite des zu copirenden Kupferstichs, die Rückseite des letzteren mit einem Glase, und ließ das Sonnenlicht darauf einwirken. Das empfindliche Papier wurde nun am stärksten an den hellen Stellen des Kupferstichs geschwärzt, die dunklen Stellen dagegen hinderten die Einwirkung des Lichtes; das Papier blieb also hier weiß. Die Halbschatten erschienen braun. Es entstand also ein sogenanntes negatives Bild, in welchem Licht und Schatten umgekehrt vertheilt waren, als im Original. Später fand Wedgwood, daß die Bilder auf Leder sich rascher erzeugten, als Papier, eine Wirkung der in dem Leder enthaltenen Gerbsäure, von welcher später die Rede sein wird.

Davy. Davy wandte statt des salpetersauren Salzes das weit empfindlichere Chlorsilber an, und es gelang ihm, die Bilder des Sonnenmikroskops zu fixiren. Allein er sowohl als Wedgwood vermochten nicht, das unzersetzte Silbersalz vor der ferneren Einwirkung des Lichtes zu schützen; die Bilder durften nur bei Lampenlicht betrachtet werden und wurden nach und nach gleichförmig schwarz. Eine solche Substanz aufzufinden, welche das unveränderte Chlorsilber auflöste, das zersetzte aber nicht angriffe, dies bezeichnete Davy mit Recht als die nächste Aufgabe der Photographie.

Niepce. Seit 1814 beschäftigte sich auch Niepce mit der Erzeugung photographischer Bilder. Er überstrich Metallplatten (Kupfer- oder Silberplatten) mit einem gegen die Einwirkung des Lichts empfindlichen Firniß, der aus einer Auflösung von Asphalt in Lavendelöl bestand, und bedeckte die so zubereitete Platte mit der Bildseite eines mittelst Firniß durchscheinend gemachten Kupferstiches, legte darüber eine Glasplatte und ließ das Ganze von der Sonne bestrahlen. In einigen Stunden trat ein schwaches Bild hervor. Indem nämlich das Licht an den hellen Stellen des Kupferstiches durchdringt, bleicht es den Asphaltüberzug der Platte; die den Schattenstellen des Bildes entsprechenden, durch die Druckerschwärze vor dem Lichte geschützten Stellen dagegen erschienen dunkel (matt grau); Licht und Schatten waren also in der photographischen Copie ebenso vertheilt, wie im Original. Niepce machte auch die Entdeckung, daß der vom Lichte veränderte Asphalt seine Löslichkeit in einer Mischung von Steinöl und Lavendelöl verloren hatte, und fand damit ein Verfahren, um die vom Lichte nicht afficirten Stellen vor der fernern Einwirkung desselben zu schützen. Hierin lag ein bedeutender Fortschritt. Behandelte er die exponirte Platte mit der gedachten Mischung, so löste sich der nicht vom Lichte getroffene Asphalt auf, während die durch das Licht gebleichten Stellen nicht angegriffen wurden. An den Schattenstellen wurde also das Metall bloß gelegt und somit das Bild fixirt. Wurde nun ein solches Bild mit verdünnter Salpetersäure übergossen,

Digitized by Google

so griff diese das bloß gelegte Metall an, während die Asphaltschicht der Lichtstellen die Einwirkung der Salpetersäure verhinderte. Auf diese Weise verschaffte sich Niepce Kupferplatten, die zum Druck geeignet waren; denn in den Vertiefungen der geätzten Stellen haftet die mit einem Lederballen eingeriebene Druckerschwärze, während die blanke Metallfläche ungeschwärzt bleibt. Niepce versuchte, diese Methode auch zur Fixirung der Bilder der Camera obscura anzuwenden; allein für die durch dieses Instrument erlangten viel schwächeren Lichteffecte zeigte sich die Asphaltschicht zu wenig empfindlich. Sie erforderte eine Exposition von 8—10 Stunden. Da sich aber während dieser Zeit der Stand der Sonne und mit ihm die Lage und Begrenzung der Schatten allmählig bedeutend ändert, so konnte er nur verwaschene und undeutliche Bilder erhalten. Ueberhaupt fehlte der ganzen Methode noch die nöthige Sicherheit. Die Mischung von Steinöl und Lavendelöl wirkte bald zu stark, bald zu schwach; es erwies sich in der Praxis äußerst schwierig, genau den Punkt zu treffen, wo der unveränderte Asphalt noch löslich, der vom Lichte veränderte aber bereits unlöslich geworden war, da in der Löslichkeit beider in der That nur eine geringe Gradverschiedenheit stattfindet.

Daguerre.

Niepce verband sich 1829 mit Daguerre, welcher sich gleichfalls seit einer Reihe von Jahren mit der Photographie beschäftigt hatte und welchem es gelang, das Verfahren Niepce's zu erweitern und zu verbessern, besonders aber eine weit größere Empfindlichkeit der Platte herbeizuführen, durch welche die Entstehung des Bildes kaum so viele Minuten erforderte, als Niepce Stunden brauchte. Niepce starb 1833 und hinterließ einen Neffen, welcher die angefangenen Versuche in Verbindung mit Daguerre fortsetzte und welchem die Photographie gleichfalls viel zu danken hat. Erst 1838 waren beide zu einer vollkommen sicheren Methode gelangt, welche die Entstehung eines deutlichen und scharfen Bildes in der Camera obscura auf wenige Minuten reducirte und die fernere Einwirkung des Lichtes vollständig aufhob. Seit der Publikation ihres Verfahrens ist die Photographie in einer fortwährenden Vervollkommnung begriffen, so daß es unmöglich ist, die Namen aller der Männer zu nennen, welche sich um dieselbe Verdienste erworben haben. Die Methode ist so einfach geworden, daß es bei einigem Geschick Jedem leicht ist, dieselbe in kurzer Zeit zu erlernen.

Die Daguerreotypie.

Nach dem von Daguerre in Verbindung mit Niepce im Stillen ausgebildeten und 1838 veröffentlichten Verfahren werden die Lichtbilder auf einer blanken Silberplatte dargestellt.

Vorbereitung der Platte.

Die Vorbereitung der empfindlichen Platte erfordert nach Daguerre's Vorschrift die größte Sorgfalt. Eine Silberplatte von entsprechender Größe, oder auch eine mit Silber überzogene Kupferplatte (entweder plattirtes oder galvanoplastisch versilbertes Kupferblech) wird aufs Sorgfältigste mit verdünnter Salpetersäure, Oel, Tripel, Eisenoxyd, Baumwolle u. s. w. geputzt, so daß man eine absolut ebene und in allen Punkten vollkommen reinmetallische Silberfläche hat: Die frisch gereinigte Silberplatte wird dann jodirt, d. h. mit einer äußerst dünnen Schicht Jodsilber überzogen. Zu diesem Ende kommt sie in ein Kästchen, in welchem Jod bei gewöhnlicher Temperatur verdampft. In dieser Atmosphäre erscheint die

Digitized by Google

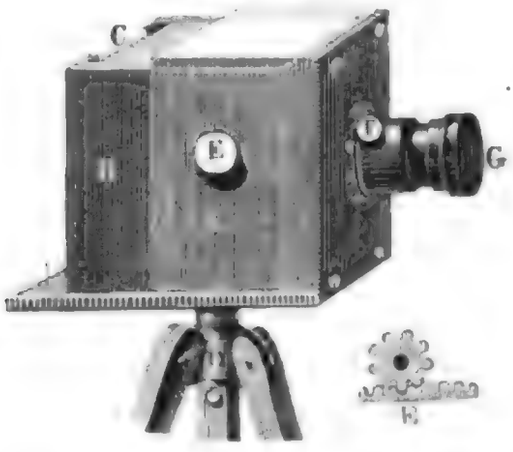
Platte nach der Dicke der gebildeten Jodsilberschicht mit den Farben dünner Plättchen, welche, wie im physikalischen Abschnitte S. 103 ff. gezeigt ist, von der Dicke der Schicht abhängen.

Das Jodiren ist im Dunkeln vorzunehmen; der Photograph beobachtet die fortschreitende Dicke der Schicht, indem er die Platte von Zeit zu Zeit aufhebt und bei Lampenlicht betrachtet. Nach Claudet gelingt die Operation am besten, wenn das Jodiren unterbrochen wird, sobald auf der Platte zum zweiten Male Gelb erscheint, entsprechend einer Schicht von etwa 0,0004 Millimeter Dicke. Die so zubereitete Platte muß durchaus dieselbe Farbe zeigen. Eine bedeutend größere Empfindlichkeit erlangt die Silberplatte nach Fizeau, wenn dem Jodsilber etwas Brom- und Chlorsilber beigemengt ist. Zu dem Zwecke wird gewöhnlich dem Jod etwas Brom beigemischt und die jodirte Silberplatte sodann noch Brom- und Chlordämpfen ausgesetzt, indem man sie über Wasser hält, in welchem diese Stoffe aufgelöst sind. Bis zur Exposition wird die Platte in einem inwendig geschwärzten flachen Kästchen aufbewahrt und durch einen dicht schließenden Schieber vor der Einwirkung des Lichtes geschützt. Dieses Kästchen paßt als Hinterwand in die Camera obscura, in welche sie bei der Exposition eingesetzt wird.

Exposition der Silberplatte.

Auf die Construction der Camera obscura ist seit der Erfindung der Daguerreotypie eine große Sorgfalt verwandt, und dieses Instrument sehr vervollkommnet worden. Eine gebräuchliche Camera obscura ist in Fig. 246 abgebildet. Der Körper derselben, ein viereckiger, innen geschwärzter Kasten, besteht aus zwei Theilen A und B. Der vordere, auf einem passenden Stativ D feststehende Theil A trägt an seiner Vorderwand ein Messingrohr mit der bilderzeugenden, gewöhnlich achromatischen Linse, welches mittelst des Triebes F verlängert und verkürzt, und durch den Messingdeckel G lichtdicht geschlossen werden kann. Die hintere Hälfte B läßt sich durch den Trieb E, welcher in eine gezahnte Stange eingreift, gleichfalls vor- und rückwärts bewegen. Als Hinterwand der Camera wird zunächst ein Rähmchen eingesetzt, welches eine auf der Innenseite mattgeschliffene Glastafel enthält, deren Entfernung von der Linse mittelst des Triebes E so regulirt wird, daß ein scharfes optisches Bild erscheint. Um dies richtig zu beurtheilen, muß während der Betrachtung desselben alles fremde Licht ausgeschlossen werden. Dies geschieht, indem man ein undurchsichtiges, schwarzes Tuch, welches wie eine Schürze an dem hinteren, oberen Rande von A befestigt ist, über den Kopf deckt. Am besten bedient man sich dabei einer Loupe.

(Fig. 246.)



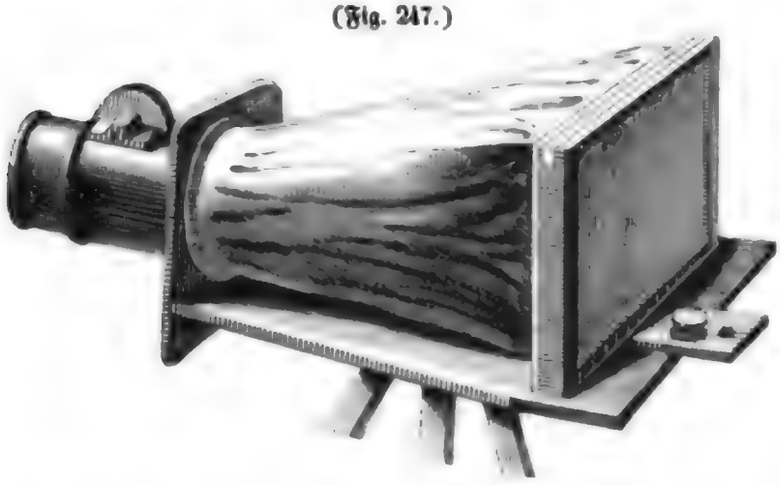
Ist die Einstellung richtig, so wird statt der matten Glastafel das flache Kästchen mit der jodirten Silberplatte eingeschoben, der dieselbe schützende Schieber abgezogen, und hierauf der Deckel G so lange abgenommen, als zur Hervorbringung eines scharfen Bildes erfahrungsgemäß nöthig ist. Diese Zeit ist jedoch sehr verschieden und hängt sowohl von der Empfindlichkeit der Platte, als von der Helligkeit und Farbe des Tageslichtes, welches in dieser

Digitized by Google

Beziehung eine große Verschiedenheit zeigt, sowie von der Farbe des abzubildenden Gegenstandes, ab.

Eine andere Form der Camera obscura, welche auf der Londoner Industrie-Ausstellung großen Beifall fand, ist Fig. 247 abgebildet.

(Fig. 247.)



Sie hat statt des Kastens eine dehnbare Tuchhülle und gewährt den Vortheil, daß sich die empfindliche Platte unter jedem beliebigen Winkel einstellen läßt. Das Hintergestell des Instruments ist an eine verschiebbare Platte befestigt, welche in jedem beliebigen Abstande von der Linse festgeschraubt werden kann, um den Experimentirenden in den Stand zu setzen, Linsen von verschiedener Brennweite zu benutzen. Die Linsen lassen sich mit Hülfe eines feinen Triebes einstellen und außerdem in verticaler Richtung bewegen, um das Bild in die Mitte des Gesichtsfeldes zu bringen. Diese Camera ist besonders für den Transport geeignet, indem sie zusammengelegt kaum den halben Raum einnimmt und halb so viel wiegt, als ein gewöhnliches Instrument mit Holzkasten.

Es ist schon oben (S. 383) angedeutet worden, daß das chemische Bild nicht immer genau in der Brennweite des optischen Feldes liegt. Um die hieraus entstehende Undeutlichkeit zu beseitigen, ist eine Correction der Einstellung erforderlich; die Silberplatte muß, wenn die chemische Brennweite mit der optischen nicht zusammenfällt, vor oder hinter dem Orte der Glastafel eingesetzt werden. Um diesen Abstand festzustellen, sind verschiedene Methoden angegeben worden, auf welche wir hier nicht genauer eingehen können. Das Bild, welches auf der auffangenden Fläche entsteht, hat aus den früher entwickelten Gründen die umgekehrte Stellung gegen das Object und ist um so vielmal kleiner, als die Entfernung desselben von der Linse in dem Abstande zwischen Linse und Object enthalten ist (s. S. 114, Fig. 115). Mit der Entfernung des Objects von der Linse ändert sich demnach sowohl der Ort, als auch die Größe des entstehenden Bildes. Daraus folgt, daß auf einer ebenen Fläche streng genommen nur von denjenigen Punkten eines körperlichen Objects, welche von der Linse die gleiche Entfernung haben, zugleich ein deutliches Bild entstehen kann. Bei Anfertigung eines photographischen Porträts wird die Linse so eingestellt, daß das Gesicht der abzubildenden Person deutlich erscheint; ist die Stellung so gewählt, daß z. B. die Kniee und Hände sich näher an der Linse befinden, so geben diese nicht allein ein undeutliches Bild, sondern auch ein verhältnißmäßig größeres. Derartige nachtheilige Stellungen sind daher zu vermeiden. Durch die Fig. 247 abgebildete Camera obscura, deren Rückwand sich unter jedem Winkel einstellen läßt, können die aus einer falschen Stellung des Objectes herrührenden Fehler häufig vermieden werden.

Digitized by Google

Die Exposition wird unterbrochen, bevor ein sichtbares Bild auf der Platte erscheint; sie erfordert nach der Daguerre'schen Methode je nach der Helligkeit und Farbe des Tageslichtes 3 bis 30 Minuten; beim Zusatz der beschleunigenden Substanzen Brom und Chlor aber nur eben so viele Secunden. Die

Hervorrufung des Bildes.

Hervorrufung des Bildes erfolgt aber, wenn man die bestrahlte Platte Quecksilberdämpfen aussetzt. Dies geschieht in einem auf vier Füßen stehenden Kästchen, dessen bauchig ausgetriebener Boden das Quecksilber enthält. Die Verdampfung desselben wird durch eine untergesetzte Spirituslampe bewirkt; durch ein in dem Quecksilber befindliches Thermometer beobachtet man seine Temperatur, welche nicht über 75° C. steigen darf. Die Platte lehnt in einiger Entfernung schräg darüber, und die allmählige Entstehung des vorher unsichtbaren Bildes kann durch ein Glasfenster beobachtet werden. Es versteht sich von selbst, daß diese Operation im Dunkeln vorgenommen und die Platte nur bei Lampenlicht betrachtet werden darf. Das Quecksilber condensirt sich an den vom Licht getroffenen Stellen in der Form von mikroskopisch kleinen Tröpfchen, und die Gradverschiedenheit dieser Condensation hängt von der Intensität der Lichtwirkung ab, so daß die Stellen des Bildes, welche das meiste Licht empfingen, das Quecksilber am stärksten condensiren. Bei richtiger Dauer der Exposition ist der Absatz des Quecksilberhauches an den verschiedenen Stellen der vorhergegangenen Beleuchtung proportional, und da das Quecksilber gegen die dunkle Fläche weiß erscheint, so erhält man ein Bild, in welchem die Abstufungen von Licht und Schatten in derselben Weise vertheilt sind, wie in dem Objecte.

Fixirung des Bildes.

Die Fixirung dieses Bildes, d. h. die Entfernung des unzersetzten Silbersalzes geschieht, indem man die Platte in eine Lösung von unterschwefligsaurem Natron bringt, worin das Jodsilber leicht löslich ist. — Durch mehrmaliges Nachspülen mit reinem Wasser wird jede Spur der Salze entfernt.

Die so zubereiteten Platten werden alsdann nach Fizeau noch schwach vergoldet, indem man sie mit einer sehr verdünnten Lösung von Goldchlorid und unterschwefligsaurem Natron übergießt und in horizontaler Stellung durch eine Spirituslampe erwärmt, um die Verdampfung zu befördern. Der Absatz der äußerst dünnen Goldschicht gibt den vom Quecksilber nicht getroffenen Stellen eine dunkle, bräunliche Farbe, während die Quecksilberstellen des Bildes vollkommen weiß bleiben. Somit tritt das Bild viel deutlicher hervor. Außerdem wird aber auch durch die Vergoldung dem vorher äußerst vergänglichen Bilde eine größere Festigkeit und Dauerhaftigkeit verliehen. Beim Erscheinen der dunkeln Goldschicht wird die Erwärmung unterbrochen, die Goldlösung abgegossen, und das fertige Bild mit destillirtem Wasser mehrmals abgewaschen.

Die Daguerreotypen geben nur dann ein richtiges Bild, wenn sie so betrachtet werden, daß die vergoldete Silberfläche kein Licht reflectirt; hält man dieselben aber so gegen das Licht, daß die vergoldete Silberfläche spiegelt, so erscheint diese heller, als der Quecksilberbeschlag, und das Bild erscheint negativ. Dieser Nachtheil, welchen die Daguerreotypen mit allen Bildern gemein haben, deren Oberfläche spiegelt, ist bei den übrigen Arten der Photographie vermieden.

Ein anderer Uebelstand der Daguerreotypen besteht darin, daß dieselben den Gegenstand umgekehrt abbilden, indem die rechte und linke Seite verwechselt erscheint, wie bei den Bildern der Spiegel. Dies wirkt in den meisten Fällen sehr störend, da die wenigsten Gesichter symmetrisch sind.

Digitized by Google

Die Talbot'sche Methode.

Talbotypie.

Unmittelbar nach der Publication der Daguerre'schen Methode der Photographie machte auch der Engländer Talbot, welcher sich schon seit mehreren Jahren mit der Darstellung von Lichtbildern beschäftigt hatte, ein Verfahren bekannt, die Bilder der Camera obscura auf Papier zu fixiren. Nach dieser Methode, welche mit dem Namen der Talbotypie bezeichnet und im Laufe der Zeit vielfach vervollkommnet worden ist, wird zunächst auf einer durchscheinenden Substanz ein negatives Bild erzeugt und von diesem sodann in ähnlicher Weise, wie früher Wedgwood und Davy versuchten, eine positive Copie genommen.

Negatives Bild.

Zur Erzeugung des negativen Bildes legte Talbot ein Stück feines, möglichst gleichförmiges Maschinenpapier zunächst auf eine verdünnte Kochsalzlösung, und sodann, nachdem es zwischen Fließpapier ein wenig getrocknet war, im Dunkeln auf eine Lösung von salpetersaurem Silberoxyd. Durch die chemische Verwandtschaft zwischen Chlor und Silber erfolgt eine Wechselzersetzung: das Chlor des Kochsalzes (Chlornatriums) geht an das Silber; es entsteht Chlorsilber, welches sich an der Oberfläche des Papiers und zwischen den Papierfasern ablagert. Es hat sich gezeigt, daß eine geringe Beimengung von Brom- und Jodsilber eine noch größere Empfindlichkeit bewirkt, daß es also zweckmäßig ist, der Kochsalzlösung etwas Brom- und Jodkalium zuzusetzen.

Das auf solche Weise zubereitete empfindliche Papier wird in der Camera obscura einige Secunden exponirt, ganz in der oben beschriebenen Weise, und zeigt dann beim Herausnehmen ebenso wenig ein Bild, wie die Daguerre'sche Silberplatte. Das Bild tritt aber hervor, wenn man das Papier sogleich auf eine concentrirte Lösung von Pyrogallussäure legt. Diese Substanz besitzt in hohem Grade die Kraft, die chemischen Verbindungen der edeln Metalle mit Sauerstoff, Chlor u. s. w. unter Mitwirkung des Lichtes zu zersetzen, während dieselben beim Ausschluß des Lichtes nicht davon afficirt werden. Da die Pyrogallussäure im vorliegenden Falle aber auch dann noch zersetzend auf die Silbersalze des empfindlichen Papiers wirkt, wenn die kurze Einwirkung des Lichtes bereits aufgehört hat, so müssen durch das Licht die chemischen Verbindungen gewissermaßen gelockert worden sein; der eigenthümliche Zustand der gegenseitigen Spannung, in welchen die Bestandtheile des Silbersalzes versetzt sind, dauert eine Zeitlang fort, ähnlich wie das Leuchten eines vom Lichte bestrahlten phosphorescirenden Körpers (S. 78), und die Pyrogallussäure setzt die vom Lichte eingeleitete Wirkung bis zur völligen Zersetzung des Salzes fort, wobei sich dieselbe gleichfalls in eine dunkel gefärbte, humusartige Substanz verwandelt. Eine Lösung von Eisenvitriol zeigt eine ähnliche Wirkung, wie die Pyrogallussäure und wird in der Photographie zu gleichem Zwecke vielfach angewandt. Es versteht sich von selbst, daß die Hervorrufung des Bildes im Dunkeln bei gelber Beleuchtung Statt finden muß.

Die Fixirung dieses negativen Bildes geschieht, nachdem dasselbe aus der Pyrogallussäure genommen und mit reinem Wasser abgewaschen ist, durch Eintauchen in eine Lösung von unterschwefligsaurem Natron, wie bei den Daguerreotypplatten, und darauf folgendes mehrmaliges Abspülen mit reinem Wasser.

Erzeugung des positiv. Bildes.

Von dem auf solche Weise erhaltenen negativen Bilde, welches von jetzt ab dem Tageslichte ausgesetzt werden darf, können nun beliebig viele positive

Digitized by Google

Copien genommen werden. Zu dem Ende macht man dasselbe nach dem Trocknen zunächst durchscheinend, indem man es auf einer erwärmten Metallplatte mit einer Mischung aus Wachs und Talg tränkt, wobei jeder Ueberschuß zu vermeiden ist. Nach langsamem Erkalten wird das negative Bild mit der Bildseite auf die empfindliche Seite eines neuen photographischen Papiers gelegt; beide Papiere kommen miteinander in den sogenannten Copirrahmen, wo sie zwischen zwei gut geschliffenen Glasplatten eingeklemmt und der Einwirkung des Sonnenlichtes ausgesetzt werden. Das empfindliche Papier ist an seiner Hinterseite durch schwarzen Sammet vor der Einwirkung des Lichtes geschützt; die Sonnenstrahlen treffen dasselbe nur, nachdem sie vorher das davorliegende negative Bild durchdrungen haben und erzeugen dadurch ein positives Bild, welches, wenn es nöthig sein sollte, wieder durch Pyrogallussäure oder Eisenvitriol hervorgerufen, und durch unterschwefligsaures Natron fixirt wird.

Diese durch Talbot publicirte Methode der Photographie auf Papier zeigt gegen die Daguerreotypie manche Vortheile. Zunächst fällt dabei das unangenehme und hindernde Spiegeln der blanken Silberfläche weg. Das photographische Papier ist selbstverständlich weit billiger herzustellen als die Daguerre'schen Silberplatten und ein negatives Bild kann beliebig oft copirt werden. Auch wird durch das Copiren der in der Camera entstandenen Bilder der Fehler corrigirt, an welchem die Daguerre'schen Bilder leiden, daß die rechte und linke Seite verwechselt erscheinen.

Die Glasbilder.

Eine wesentliche Verbesserung der Talbot'schen Methode ist die von dem jüngeren Niepce zuerst vorgeschlagene Erzeugung der negativen Bilder auf präparirten Glasplatten. Das Papier hat nämlich niemals eine ganz glatte Oberfläche, es ist, da es aus verfilzten Leinen- und Baumwollenfasern besteht, niemals gleichmäßig durchscheinend zu machen, und da alle hierdurch entstehenden Fehler und Ungenauigkeiten auf die positive Copie übertragen werden, so lag der Gedanke nahe, als Träger der empfindlichen Schicht statt des Papiers Glas anzuwenden, welches bei einer glättern Oberfläche eine fast vollkommene Durchsichtigkeit besitzt und also eine weit feinere Ausprägung des abzubildenden Gegenstandes gestattet. Niepce brachte zuerst Gelatine (Leim), Eiweiß und Stärkekleister, der Engländer Bingham das Collodium in Vorschlag. Besonders der letztere interessante Stoff hat sich durch die Einfachheit seiner Anwendung, die Schnelligkeit, womit es den Lichteindruck empfängt, und die Feinheit der erhaltenen Bilder, allgemeinen Eingang verschafft und die übrigen Substanzen fast vollständig verdrängt.

Das Collodium ist eine Auflösung der von Schönbein entdeckten Schießbaumwolle in Aether, welcher etwa 8 Procent Alkohol enthält. Wenn man diese Lösung auf eine Fläche streicht, so bildet sich bei der Verdampfung des Lösungsmittels sehr rasch eine dichte Collodiumhaut. In der Photographie wendet man eine sehr verdünnte ätherische Lösung an, die mit etwas Jodkalium oder Jodammonium versetzt ist (auf jedes Loth Collodium 2—3 Gran Jodkalium), dieselbe wird auf eine fein geschliffene, vorher sorgfältig gereinigte Glasplatte in einer dünnen Schicht gleichmäßig ausgegossen und hinterläßt beim Verdampfen des Aethers ein außerordentlich dünnes Collodiumhäutchen; auf diesem wird die empfindliche Schicht von Jodsilber erzeugt,

Digitized by Google

indem man die mit jodhaltigem Collodium überzogene Glasplatte in eine wässerige Lösung von salpetersaurem Silberoxyd eintaucht. Sie wird nach dem Abwaschen am besten einige Minuten einer mäßigen Wärme ausgesetzt und noch feucht in die Camera obscura gebracht. Die Hervorrufung des Bildes geschieht, wie bei dem Talbot'schen Verfahren, durch eine concentrirte Auflösung von Pyrogallussäure in Wasser, dem etwas Essigsäure zugesetzt ist, oder auch durch eine angesäuerte Eisenvitriollösung, die Fixirung durch unterschwefligsaures Natron. Von dem hierdurch entstandenen negativen Bilde wird auf die oben angegebene Weise eine positive Copie auf photographischem Papier erzeugt.

Vergrößerte oder verkleinerte Bilder.

Mitunter erscheint es wünschenswerth, die Copie in anderem Maßstabe auszuführen, als das negative Bild. Dieß geschieht nicht im Copirrahmen, sondern mittelst einer dazu eingerichteten doppelten Camera obscura. Gesetzt, es sollte von einem kleinen negativen Glasbilde eine vergrößerte positive Copie genommen werden, so setzt man an das Objectiv einer Camera lichtdicht eine zweite Camera obscura in umgekehrter Stellung, so daß beide die Linse zwischen sich haben. In den Rahmen der letzteren bringt man das zu copirende Negativ und stellt den Apparat so auf, daß das direkte Licht durch das Bild hindurch in die vordere Camera und durch die Linse in die hintere Camera fällt. Der Rahmen der letzteren nimmt das für die Copie bestimmte Papier oder Glas auf, nachdem die beiden verbundenen Instrustrumente in ihrer Länge so eingestellt sind, daß das Bild die gewünschte Größe erhält. Wie sich aus der im physikalischen Abschnitte S. 114 ff. entwickelten Wirkung der Convexlinsen ergibt, steht die Größe der beiden Bilder in demselben Verhältniß, wie ihre Entfernung von der Linse. Ist z. B. das negative Bild in der doppelten Brennweite der Linse aufgestellt, so entsteht ein umgekehrtes positives Bild jenseits der Linse gleichfalls in doppelter Brennweite; beide sind in diesem Falle von gleicher Größe. Wird das Negativ näher an die Linse gestellt (ohne jedoch den Brennpunkt zu erreichen), so rückt der Ort der positiven Copie in eine größere Entfernung, wobei dasselbe sich zugleich vergrößert. Will man dagegen eine verkleinerte Copie erhalten, so muß das Negativ um mehr als die doppelte Brennweite von der Linse entfernt werden. — Die zu diesen Operationen anzuwendende Camera muß sich sehr bedeutend verlängern lassen; am besten eignet sich dazu eine Camera, deren Körper wie der Blasebalg einer Ziehharmonika eingerichtet ist.

Wir sahen lebensgroße photographische Porträts von großer Schönheit, welche mittelst wiederholter Vergrößerung von kleinen, aber sehr scharfen und fehlerfreien Photographien copirt waren. Da es weit leichter ist, von Landschaften oder architektonischen Gegenständen recht scharfe Aufnahmen in kleinem Maßstabe auszuführen, und da sich sowohl diese kleinen Bilder, als auch die dazu erforderliche kleinere Camera nebst allen übrigen zugehörigen Apparaten weit bequemer transportiren lassen, so ergibt sich hieraus für reisende Photographen ein bedeutender Vortheil; die kleinen Negativs können zu Hause mit Bequemlichkeit in jedem beliebigen Maßstabe copirt werden.

Direkte Erzeugung positiver Lichtbilder.

Martin's Methode.

Es sind zur direkten Erzeugung positiver Lichtbilder verschiedene Methoden mit gutem Erfolge angewandt worden. Martin hat folgendes Verfahren veröffentlicht, welches sehr gute Resultate gibt:

Digitized by Google

Das Collodium wird so weit verdünnt, daß es auf 1 Gran Schießbaumwolle 120 Gran Aether und 60 Gran Alkohol enthält. Man setzt diesem Collodium $1\frac{1}{2}$ Gr. Jodsilber zu, welches in 20 Gr. Alkohol mittelst Jodammonium gelöst ist. Nachdem die gut gereinigte Platte mit einer dünnen Schicht dieses Collodiums übergossen und noch bevor dasselbe vollkommen getrocknet ist, wird sie in eine verdünnte, wässrige Lösung von salpetersaurem Silberoxyd getaucht, welches etwas überschüssige Salpetersäure enthält. (20 Theile Silbersalz und 12 Th. Salpetersäure auf 240 Th. Wasser.) Nach der Exposition in der Camera, welche nur wenige Secunden erfordert, wird das Bild durch Eintauchen in eine Eisenvitriollösung hervorgerufen; es ist negativ, wird aber sofort positiv, wenn man die sorgfältig abgewaschene Glasplatte in eine Auflösung von Cyansilberkalium bringt. Diese Lösung wird erhalten, wenn man 25 Th. Cyankalium und 4 Th. salpetersaures Silberoxyd in 1000 Th. Wasser löst. Hierdurch werden die vorher dunklen Stellen des Bildes, welche den Lichtpartieen des Objectes entsprechen, je nach der stattgehabten Bestrahlung mehr oder weniger undurchsichtig grau bis weiß; an den vom Lichte nicht getroffenen Stellen dagegen wird das Silbersalz von dem Cyansilberkalium aufgelöst und diese Stellen erscheinen somit dunkel, wenn man die Glasplatte gegen einen dunklen Hintergrund hält. Nach dem Abwaschen wird das Bild mit Dextrin (Stärkegummi) überzogen, getrocknet, und entweder auf der Rückseite durch einen dunklen Anstrich geschwärzt, oder besser auf einem Grunde von schwarzem Sammet eingerahmt.

Berry's Methode.

Noch bessere (sowohl positive als negative) Bilder erhält man nach Berry, wenn man statt des Jodsilbers Bromsilber anwendet. Dieser löst 60 Gran Bromammonium in möglichst wenig Alkohol und setzt dann so viel reines Collodium zu, bis die Mischung eine Unze wiegt. Um die mit diesem bromhaltigen Collodium überzogene Glasplatte empfindlich zu machen, wird sie in eine Silberlösung getaucht, welche auf jede Unze des Bades 60 Gran salpetersaures Silberoxyd enthält. Die Hervorrufung des negativen Bildes erfolgt ebenso wie nach Martins Vorschrift, durch Eisenvitriol, und die Umwandlung desselben in ein positives Bild durch Cyansilberkalium. Die von Berry nach dieser Vorschrift dargestellten Lichtbilder zeichnen sich besonders durch ihre Harmonie aus. Die verschiedenen Farben des Originals geben einen ihrer optischen Intensität proportionalen Lichteindruck, so daß man eine wahre Copie durch entsprechende helle oder dunkle Tinten oder Halbtinten erhält.

Da Jod- und Bromsilber sich in Collodium ziemlich leicht auflösen, so kann man die Silberbäder ersparen, oder vielmehr Collodiumüberzug und Silberbad in eine einzige Operation vereinigen. Man verwandelt das salpetersaure Silberoxyd durch Zusatz von Brom- oder Jodammonium in Brom- oder Jodsilber und löst dieses in Collodium auf; die Lösung erscheint milchig getrübt. Natürlich muß dieses lichtempfindliche Collodium in undurchsichtigen Flaschen aufbewahrt und das Ueberziehen der Platten im Dunklen vorgenommen werden.

Uebertragung der Collodiumbilder auf andere Substanzen.

Die Collodiumschicht haftet nur lose an dem Glase und läßt sich daher, bevor sie durch zu große Austrocknung spröde geworden ist, davon abziehen. Nach Gaudin kann man auch schon trockene Collodiumbilder abziehen und auf schwarzer Wachsleinwand haften machen. Zur Vermeidung von Luft-

Digitized by Google

blasen legt man die vorher gefirnißte Wachsleinwand unter Wasser auf die mit einem hinreichend starken Collodiumhäutchen überzogene Glasplatte und drückt beide an den Ecken lose einander. Indem die Glastafel sammt der darauf liegenden Wachsleinwand rasch nach oben bewegt wird, drückt das Wasser die letztere senkrecht gegen die Collodiumschicht an. Wenn die Wachsleinwand und das Collodium einander innig berühren, läßt sich letzteres von der Glastafel abziehen. Um dabei das Zerreißen des Collodiums zu vermeiden, ist es gut, beide Flächen, leicht aneinander gehalten, zwischen mehrere Bogen Fließpapier zu legen, das Wasser auszudrücken und die Feuchtigkeit durch Trocknen zu verflüchtigen. Nach dem Trocknen läßt sich die Wachsleinwand stets ohne Schwierigkeit von der Glastafel abnehmen, das Bild erscheint auf derselben positiv.

Auf ähnliche Weise werden Lichtbilder auf Kattun, Leinwand, Seide u. s. w. übertragen, sie haben den Vorzug der äußersten Billigkeit; sie spiegeln nicht, werden durch Berührung nicht verdorben, lassen sich vielmehr waschen, und können in einem Briefe versandt werden.

Lafon de Camarsac hat die photographischen Bilder mit Erfolg auf Porzellan, Email und Glas übertragen und dann in dem Muffelofen eingebrannt; Collodium, Eiweiß, Leim u. s. w. verbrennen dabei und das metallische Silber der negativen Bilder bildet auf einer dunklen Unterlage die Lichtstellen; für weißes Porzellan und Email dagegen werden die Schattenpartien durch das Metall dargestellt, also ein positives Bild eingebrannt.

Photographische Druckplatten.

Alle Lichtbilder sind mehr oder weniger vergänglich, am meisten die Daguerreotypen, da das Quecksilber bei jeder Temperatur verdampft, wenn auch bei niederen Temperaturgraden sehr langsam und unmerklich. Die Papierbilder, deren Schatten und Halbschatten aus Silber bestehen, sind zwar dauerhafter, aber gewiß nicht von unbegrenzter Dauer. Das Silber war in den zur Vorbereitung des empfindlichen Papiers angewandten Flüssigkeiten in gelöstem Zustande enthalten; es ist demnach in den geeigneten chemischen Reagentien löslich, und wenn auch nicht anzunehmen ist, daß die Lichtbilder bei ihrer Aufbewahrung mit ähnlichen Stoffen in Berührung kommen, so ist es doch wahrscheinlich, daß auch weit schwächere Agentien, welche den Bildern durch die atmosphärische Luft zugeführt werden, nach sehr langer Zeit eine ähnliche Wirkung ausüben können, zumal da die Menge des auf einem Lichtbilde vorhandenen Silbers außerordentlich gering ist. In der That zeigt die Erfahrung, daß alle, auch die nach den besten Methoden dargestellten Papierbilder mit der Zeit verblassen, obwohl in dieser Beziehung bereits wichtige Verbesserungen erzielt worden sind und größere ohne Zweifel nachfolgen werden.

Besonders die Galvanoplastik hat sich hülfreich gezeigt, um unveränderliche Copieen von Lichtbildern zu liefern. Es gelingt sehr leicht, von einem guten Daguerreotyp eine unbegrenzte Anzahl galvanoplastischer Copieen zu erhalten. Dasselbe muß gut vergoldet sein und wird, nachdem der Rand und die Rückseite mit einem isolirenden Wachsüberzuge versehen sind, in eine verdünnte Kupfervitriollösung eingesetzt und mit dem negativen Pole einer galvanischen Kette verbunden. Als positive Platte steht ihr in geringer Entfernung ($^1/_5$ Zoll) ein Kupferblech gegenüber. Es bildet sich rasch eine Kupferschicht, welche abgenommen werden kann, sobald dieselbe

Galvanoplastische Copieen.

Digitized by Google

Papierdicke erlangt hat. Das Bild erscheint auf dieser Kupferplatte vollkommen scharf und rein. Man kann eine beliebige Anzahl solcher Copieen von einem Daguerreotyp nehmen, ohne demselben zu schaden. Diese Copieen werden alsdann am besten galvanisch versilbert; sie sind nicht allein von unbegrenzter Dauerhaftigkeit, sondern sie verbessern auch den Fehler der Daguerreotypen, welcher aus der Verwechselung von Rechts und Links entsteht, indem sie das umgekehrte Bild nochmals umkehren. Dies Verfahren ist jedoch sehr zeitraubend, indem der galvanische Niederschlag mindestens 6 bis 8 Stunden Zeit erfordert, und außerdem wegen des theuren Materials dieser Bilder zu kostspielig.

Besonders wünschenswerth mußte die Vervielfältigung der Lichtbilder durch die Druckerpresse, also die Anfertigung photographischer Druckplatten erscheinen, und in dieser Richtung sind seit der Erfindung der Photographie eine große Menge von Versuchen gemacht worden, welche, wenn auch noch nicht vollkommen befriedigende, doch so ermunternde Resultate geliefert haben, daß wir uns nicht versagen können, die wichtigsten der in dieser Richtung geschehenen Schritte etwas genauer ins Auge zu fassen.

Geätzte Daguerreotypen.

Grove machte 1841 eine Methode bekannt, Daguerreotypen zum Druck zu ätzen. Er brachte die nicht vergoldete Daguerresche Platte, nachdem sie am Rande und auf der Rückseite gefirnißt war, in verdünnte Salzsäure, stellte ihr in geringer Entfernung ($^1/_5$ Zoll) eine gleich große Platinplatte gegenüber und verband letztere mit dem negativen, erstere mit dem positiven Pole eines galvanischen Elementes. In 25 bis 30 Secunden war die Aetzung vollendet; es zeigte sich, daß die Silberfläche von der Salzsäure etwas stärker angegriffen wurde, als die mit Quecksilber überzogenen Lichtstellen des Bildes. Die so geätzte Platte wird mit unterschwefligsaurem Natron und hierauf mit reinem Wasser abgewaschen und kann direkt zum Drucken nach Art eines Kupferstichs gebraucht werden. Doch hat es damit folgende Schwierigkeiten: sind die Platten so tief geätzt, daß sie sich deutlich abdrucken, so müssen die feinsten Linien des Originals nothwendig in einander laufen, wodurch der Hauptvorzug dieser ausgezeichneten Bilder verloren geht; läßt man dagegen den Prozeß nur so lange dauern, daß man ein genaues Aetzbild nach der Originalzeichnung erhält, was auf das Vollkommenste geschehen kann, so vernichtet das starke Putzen derselben von Seiten des Druckers ihre Schönheit, und da die Theilchen der Druckerschwärze größer sind, als die Vertiefungen der geätzten Platte, so wird der Druck unvollkommen. Auch können die so zarten Platten natürlich nur eine beschränkte Anzahl von Abdrücken aushalten.

Photographischer Stich.

Salmon und Garnier erfanden ein Verfahren, Photographien auf Meßingplatten zu copiren und diese zum Druck zu ätzen. Die gut polirte und sorgfältig geputzte Meßingplatte wird zuerst wie eine Daguerresche Silberplatte jodirt, dann mit dem zu copirenden (positiven) Glasbilde bedeckt und der Einwirkung des zerstreuten Tageslichtes ausgesetzt. Hierauf wird die Photographie im Dunklen abgenommen und die Meßingplatte mit einem Baumwollenbällchen eingerieben, welches einige Quecksilberkügelchen enthält. Das Quecksilber haftet alsdann nur an denjenigen Stellen, welche vor der Einwirkung des Lichtes geschützt waren, also an den Schattenstellen der Photographie. Man erhält also das Bild weiß auf dunklem Grunde. Wird nun dieses Bild mit einer eingeschwärzten Druckerwalze überfahren, so nehmen nur diejenigen Stellen die fettige Schwärze an, welche von dem Quecksilber-

Digitized by Google

überzuge frei geblieben sind. Die Schwärze versieht jetzt, sobald sie eingetrocknet ist, die Stelle des Aetzgrundes. Wird die Platte (am besten auf galvanischem Wege) geätzt, so lösen sich nur die Quecksilberstellen auf; dieselben können bis zu belieber Tiefe geätzt und die Platte alsdann in der Kupferpresse abgedruckt werden, nachdem die Schwärze durch Terpentinöl entfernt ist.

Helioplastik.

Mit dem Namen Helioplastik bezeichnete A. Poitevin eine von ihm erfundene Methode, um durch die Wirkung des Lichtes erhabene oder vertiefte Stiche zu erhalten. Sein Verfahren beruht auf der schon früher bekannten reducirenden (d. h. Sauerstoff entziehenden) Wirkung des Lichtes auf chromsaure Salze bei Gegenwart organischer Stoffe. Gelatine, welche mit der Lösung eines chromsauren Salzes versetzt ist, verliert nämlich durch die Einwirkung des Lichtes die Eigenschaft, sich im Wasser aufzublähen, während sie, vor dem Lichte geschützt, im Wasser sehr bedeutend anschwillt. Durch das Licht wird nämlich die Chromsäure unter Sauerstoffverlust zu Chromoxyd reducirt, welches mit dem Leim eine unlösliche Verbindung bildet, die vom Wasser kaum benetzt wird. — Auf dieses Verhalten gestützt, überzieht Poitevin eine Glastafel mit einer Leimschicht, deren Dicke der beabsichtigten Höhe des Reliefs angemessen ist, läßt diese Schicht in einem geheizten Raume ziemlich rasch trocknen und taucht sie alsdann einige Minuten in eine concentrirte Auflösung von zweifach chromsaurem Kali, worauf sie mit Wasser rasch abgewaschen und im Dunklen getrocknet wird. Die auf solche Weise präparirte empfindliche Platte wird, nachdem sie vollkommen getrocknet ist, mit einer positiven Photographie bedeckt, im Copirrahmen exponirt und sodann in Wasser gelegt. Alle vom Lichte nicht getroffenen Stellen der Gelatine, welche den dunklen Partieen des zu copirenden Bildes entsprechen, schwellen im Wasser an und bilden also erhabene Stellen auf der Platte; die Lichter bleiben vertieft und eben. Wird die Leimfläche hierauf rasch mit einer concentrirten Gerbsäurelösung übergossen, so bildet sich auf den angeschwollenen Stellen ein unlöslicher Ueberzug, welcher beim nachherigen Eintrocknen sich mit außerordentlich feinen Runzeln überzieht und dadurch eine erhabene Körnelung der Schattenstellen des Bildes bewirkt, welche bei sorgfältiger Behandlung dieselben Abstufungen zeigt, wie das Lichtbild. Könnte man von dieser Platte direkt einen galvanischen Abdruck machen, so würde dieser an den Schattenstellen vertieft gekörnt erscheinen, also in der Kupferdruckpresse Bilder geben, welche der Photographie entsprechen. Allein der Leim kann nicht in das galvanische Bad gebracht werden, ohne wieder anzuschwellen. Man nimmt daher erst einen Gutta-Percha-Abdruck und macht von diesem eine galvanoplastische Matrize, von welcher dann auf galvanischem Wege Kupferdruckplatten angefertigt werden können.

Photographischer Stahlstich.

Wir sahen oben, daß bereits die Versuche des ältern Niepce dahin gerichtet waren, mittelst der Einwirkung des Lichtes Metallplatten zum Druck zu präpariren. Die von ihm angestellten Versuche sind besonders von seinem Neffen und Nachfolger fortgesetzt worden und in neuerer Zeit zu einem ziemlich befriedigenden Resultate gediehen. Namentlich hat derselbe die Zeit der Exposition bedeutend abgekürzt. Niepce überzieht eine gut polirte und gereinigte Stahlplatte mit einem Firniß aus 90 Theilen Benzin, 10 Theilen Citronenöl und 2 Theilen Asphalt. Er hat nachgewiesen, daß die Empfindlichkeit des Asphaltes sich bedeutend steigert, wenn derselbe vor seiner Auflösung pulverisirt und in dünnen Schichten mehrere Tage (oder wenn die

Digitized by Google

Auflösung desselben einige Stunden) der Einwirkung des Lichtes und der Luft ausgesetzt wird. Der Firniß ist dünnflüssig und läßt sich leicht gleichmäßig auf der Platte verbreiten; doch ist seine Empfindlichkeit nicht groß genug, um die Bilder der Camera obscura direkt aufnehmen zu können. Vielmehr fertigt sich Niepce zuerst auf gewöhnliche Weise ein negatives Glasbild, nimmt sodann von diesem eine positive Copie auf Papier oder besser ebenfalls auf Glas, und bringt die letztere mit der gefirnißten und im Dunkeln getrockneten Stahlplatte in den Copirrahmen. Nach einer Exposition, welche bei gutem Sonnenlichte 3 bis 8 Minuten erfordert, wird der Copirrahmen im Dunkeln geöffnet und die Stahlplatte mit einer Mischung aus 3 Theilen Steinöl und 1 Theil Benzin übergossen, welche das vom Lichte nicht getroffene Harz auflöst und das darunter befindliche Metall bloß legt, während die bestrahlten Lichtstellen dem Lösungsmittel widerstehen. Nachdem auf solche Weise das Bild entwickelt ist, übergießt man die Stahlplatte zunächst mit Jodwasser, welches mehrmals zu erneuern ist und vollendet die dadurch eingeleitete Aetzung des bloßgelegten Metalles durch sehr verdünnte Salpetersäure oder wohl noch besser mittelst des galvanischen Stromes.

Photolithographie.

Auf ähnliche Weise kann auch auf den lithographischen Schiefer ein Lichtbild übertragen werden. Nach Lerebours und Lemercier übergießt man den Stein mit einer Auflösung von Asphalt in Schwefeläther, welche beim Trocknen einen feinen körnigen Ueberzug zurückläßt. Der so präparirte Stein wird mit einem negativen Lichtbilde bedeckt und dem Sonnenlichte ausgesetzt. Wenn man nach der Exposition den Stein mit Aether wäscht, so löst dieser den Asphalt nur da auf, wo derselbe vor der Einwirkung des Lichts geschützt war, an den vom Lichte getroffenen Stellen ist er unlöslich geworden. Nach dem Trocknen wird der Stein ganz wie eine lithographische Kreidezeichnung mit verdünnter Säure, welcher etwas Gummi zugesetzt ist, geätzt, dann mit Wasser, nöthigenfalls auch mit Terpentinöl, gewaschen und mit der gewöhnlichen lithographischen Druckerfarbe eingeschwärzt. Die photographische Druckerei von Lemercier in Paris liefert auf diese Weise ausgezeichnete Photolithographieen*).

Farbige Lichtbilder.

Die Bestrebungen, ein Verfahren aufzufinden, welches nicht bloß die Contouren und die Vertheilung von Licht und Schatten, sondern auch die Farben des in der Camera obscura entstehenden Bildes wieder gäbe, traten sofort nach dem Erscheinen der Daguerre'schen Bilder hervor. Dem Verlangen des Publikums nach farbigen Daguerreotypen entsprachen die Photographen durch Coloriren derselben, eine Verunstaltung, welche in neuerer Zeit mehr und mehr in Verruf gekommen ist. Man bedient sich dazu fein geriebener Pastellfarben, welche zunächst mit etwas Gummi in einen Brei verwandelt und dann nochmals zu einem unfühlbar zarten Pulver gerieben werden. Die farbigen Pulver werden auf die vergoldete Platte mit einem feinen Pinsel vorsichtig aufgetragen, das Ueberschüssige durch Blasen entfernt und der auf der Daguerreotypie hängen gebliebene Staub durch Anhauchen befestigt, indem hierdurch das Gummi sich löst. Eben so wenig Empfehlung

*) Der Herzog von Luynes hat einen Preis von 8000 Francs für denjenigen ausgesetzt, welcher bis zum 1. Juli 1859 eine genügende Lösung des Problems: Vervielfältigung der Lichtbilder durch die Druckerpresse — an die Société Française de photographie zu Paris einsendet.

Digitized by Google

verdient die auf transparente Lichtbilder angewandte Methode, nach welcher auf die Rückseite des Bildes, den Contouren entsprechend transparente Farben aufgetragen werden.

Becquerels Versuche.

Dem gegenüber wurden seit 1848 besonders von Becquerel im Anschluß an die früheren Beobachtungen von Seebeck und Herschel mit großer Umsicht und Ausdauer Versuche angestellt, um die Bilder der Camera obscura direkt mit ihren Farben zu erzeugen. Wir glauben, daß das irgend Mögliche von ihm erreicht worden ist. Becquerel erzeugt eine weißliche Chlorsilberschicht, indem er eine Silberplatte in verdünnte Chlorwasserstoffsäure (Salzsäure) eintaucht und mit dem positiven Pole einer galvanischen Kette in Verbindung setzt. Den negativen Pol bildet ein Platindraht, welcher in einiger Entfernung vor der Silberplatte hin und her geführt wird. Das Chlor, welches am positiven Pole vom Wasserstoff geschieden wird, verbindet sich hier sofort mit dem Silber zu Silberjubchlorür, einer niederen Chlorstufe als das gewöhnliche Chlorsilber, welche zuerst in den Farben dünner Plättchen erscheint. Die Platte färbt sich anfangs grau, dann gelblich, violett, blau, grünlich, dann wieder grau, rosenroth, violett und endlich blau. Vor diesem zweiten Blau, wenn die Platte das Violett der zweiten Ordnung zeigt, wird dieselbe herausgenommen, mit destillirtem Wasser gewaschen und bei schwacher Erwärmung über einer Weingeistlampe rasch getrocknet. Die Chlorsilberschicht erscheint dann dunkel violett und nimmt im Sonnenspectrum eine Färbung an, welche den einzelnen Farben entspricht. Das Roth, Grün, Blau und Violett bilden sich sehr gut ab, Gelb und Orange weniger gut; doch sind die Farben sehr dunkel. Ein helleres Farbenbild des Spectrums erhielt Becquerel, wenn er die zubereitete Platte vorher einige Minuten lang auf 80° C. erwärmte. Es gelang ihm auch, colorirte Kupferstiche einigermaßen mit ihren Farben zu copiren, für die Camera obscura aber zeigten sich seine Platten viel zu unempfindlich, indem sie eine sehr lange Expositionszeit erforderten.

Bis jetzt konnte jedoch kein Mittel aufgefunden werden, um diese Farben, welche offenbar zu den Interferenzfarben dünner Plättchen zu zählen sind, also von der Dicke der zersetzten Schicht abhängen, zu fixiren; Becquerels farbige Bilder lassen sich also nur im Dunklen bei schwachem Lampenlicht betrachten; jedes der bis jetzt angewandten Fixirungsmittel bringt graue bis schwarze Farbentöne hervor. Aus theoretischen Gründen, deren Auseinandersetzung zu weit führen dürfte, ist es auch unwahrscheinlich, daß das Becquerel'sche Verfahren zu einem genügenden Resultate führen wird; es ist kaum denkbar, daß ein Fixirungsmittel zu finden sein dürfte, welches, ohne die Dicke der zersetzten Schicht zu ändern, das unzersetzte Chlorsilber wegnimmt oder für das Licht unempfindlich macht.

Bemerken wollen wir, daß 1851 der amerikanische Photograph Hill ein Verfahren entdeckt haben will, die Bilder der Camera mit ihren natürlichen Farben auf Metallplatten in sehr großer Vollkommenheit und Schönheit darzustellen, und daß er 1853 die Mitglieder der Patent-Commission von der erfolgten Lösung des Problems der photographischen Färbung, sowie von der Neuheit und Eigenthümlichkeit seiner Methode überzeugt hat. Hill erbot sich zugleich, sein Verfahren, welches als die höchste Vollendung der Photographie angesehen werden müßte, andern Photographen mitzutheilen. Da seitdem Nichts weiter darüber verlautete, so halten wir es bei der bekannten Unzuverlässigkeit amerikanischer Nachrichten, besonders in Bezug auf Erfindungen und Entdeckungen, für gerathen, vorläufig die Bestätigung abzuwarten.

Digitized by Google

Anwendungen der Photographie.

Da in der Photographie das Licht selbst die Anfertigung der Zeichnung übernimmt, so erreicht ein gut ausgeführtes Lichtbild die höchste Treue und Naturwahrheit; es ist jetzt sehr leicht, um geringen Preis vollkommen treue Portraits, in wenigen Minuten richtige Ansichten von Gegenden, von complicirten Maschinen u. s. w. zu erlangen und die Anwendung der Photographie nach diesen Richtungen ist eine sehr ausgedehnte geworden. In Paris sieht man z. B. kleine photographische Portraits als Visitenkarten abgeben. — Die Sicherheitspolizei hat in der Photographie ein ausgezeichnetes Mittel erlangt, um von eingefangenen Verbrechern in wenigen Augenblicken ein wohlgetroffenes Bild zu bekommen, welches gewöhnlich beim ersten Verhör unbemerkt von einem Nebenzimmer aus aufgenommen wird. Bei der etwaigen Entweichung des Verbrechers werden dann statt der durchaus unzureichenden Steckbriefe photographische Copien versandt.

Stereoskopische Bilder.

Eine sehr nette und interessante Anwendung der Photographie sind die stereoskopischen Bilder, welche in neuerer Zeit in Paris, London ꝛc. ꝛc. in ausgezeichneter Schönheit angefertigt werden. Wir verweisen hier auf die Beschreibung und Abbildung des Brewster'schen Stereoskops, S. 126, Fig. 136. Früher beschränkten sich die stereoskopischen Zeichnungen fast nur auf Constructionen einfacher mathematischer Körper; mit Hülfe der Photographie dagegen ist man im Stande, die reichsten Gruppen von Tausenden der verschiedenartigsten Gegenstände, durch Personen belebt, für das Stereoskop aufzunehmen und körperlich zu sehen; so existiren z. B. sehr viele derartige Aufnahmen aus der Londoner und Pariser Industrie-Ausstellung, Personengruppen, Blumen und Fruchtstücke, Landschaften, architektonische Bilder u. s. w. von solcher Reichhaltigkeit und Lebendigkeit, daß sie eine wahrhaft wunderbare Wirkung hervorrufen. Zur Darstellung dieser Bilder ist nur erforderlich, denselben Gegenstand zweimal von verschiedenen Standpunkten aufzunehmen, welche den verschiedenen Bildern beider Augen entsprechen. Die Aufnahme beider Bilder geschieht jetzt meistens gleichzeitig auf derselben Glasplatte, welche die Hinterwand einer Camera obscura mit zwei neben einander stehenden Objectiven bildet. Die Objectivlinsen dieses Doppelinstrumentes sind in gleicher Weise prismatisch geschliffen, wie die des Brewster'schen Stereoskops (Fig. 139, S. 126), die brechende Kante nach innen gerichtet, so daß beide Bilder auf der Hinterwand dicht neben einander fallen.

Naturwissenschl. Abbildungen.

Ganz besonders hervorzuheben ist der Nutzen, welchen die photographischen Abbildungen denjenigen Wissenschaften gewähren, denen an möglichster Naturtreue vor Allem gelegen sein muß: den beschreibenden Naturwissenschaften, für welche z. B. vollkommen gute mikroskopische Bilder von höchstem Werthe sind, nicht minder der Ethnographie, Alterthumskunde u. s. w. So wird jetzt seit einigen Jahren von den Herren L. Rousseau und A. Deveria eine Photographie zoologique herausgegeben, welche den Zweck hat, die reichen Sammlungen des Pariser Museums kennen zu lehren. Die Abbildungen werden mittelst des photographischen Stahlstichs nach der Niepce'schen Methode hergestellt. Von einer photographisch gravirten Stahlplatte lassen sich recht gut 3000 Abzüge machen. Es leuchtet ein, von welchem unschätzbaren Werthe die Dienste sind, welche die Photographie nach dieser Richtung hin für die Wissenschaft zu leisten vermag, besonders wenn in der Darstellung photographischer Druckplatten erst eine vollkommene Sicherheit erlangt sein wird.

Digitized by Google

Interessant ist die Anwendung der Photographie im Dienste der beobachtenden Meteorologie, um die durch die meteorologischen Instrumente angezeigten atmosphärischen oder tellurischen Veränderungen zu registriren. Um eine graphische Darstellung der Veränderungen der Wärme oder des Luftdruckes zu erlangen, wie sie durch Thermometer und Barometer angezeigt werden, wird hinter dem zu beobachtenden Instrumente ein Streif empfindlichen Papieres in horizontaler Richtung langsam vorbeigeführt, indem dasselbe innerhalb einer Blechkapsel sich von einer Walze auf eine zweite wickelt, die durch ein Uhrwerk in gleichförmige Umdrehung versetzt ist. Bei dieser Bewegung passirt das Papier hinter einem, an der Vorderseite der Kapsel befindlichen schmalen Spalt vorüber, welcher durch das obere Ende des Barometers oder Thermometers geschlossen ist, und wird daher nur so weit geschwärzt, als das Licht nicht durch Queckfilber abgehalten ist. Die Eintheilung des Instrumentes ist auf dem Glasrohre selbst mit undurchsichtiger Farbe aufgetragen; bei der horizontalen Bewegung des Papieres stellen sich diese Theilstriche als helle horizontale Linien auf schwarzem Grunde dar, während die Queckfilberoberfläche eine Curve bildet, deren Berge und Thäler dem Steigen und Fallen des Instrumentes entsprechen. Die Beobachtungszeit ergiebt sich aus der vorbeigeführten Länge des Papiers. Die Beleuchtung erfolgt durch eine, dem Instrumente gegenüber aufgestellte Argand'sche Lampe mit Hohlspiegel, deren erwärmender Einfluß durch ein davor gestelltes, mit Wasser gefülltes Glasgefäß aufgehoben ist. — Um die Variationen und Störungen der Magnetnadel (s. S. 184) zu registriren, trägt dieselbe auf ihrer Mitte einen kleinen Stahlspiegel, welcher das von einer in gleicher Höhe aufgestellten Lampe kommende Licht reflectirt und folglich an der übrigens dunkeln Wand einen hellen Fleck erzeugt, der durch eine geeignete Krümmung des Spiegelchens bis auf einen leuchtenden Punkt concentrirt werden kann. Dieser helle Punkt verschiebt sich in horizontaler Richtung, sobald die Magnetnadel mit dem Spiegel ihre Stellung ändert, und zwar wird aus leicht begreiflichen Gründen jede kleine Schwankung als eine sehr bedeutende Abweichung des hellen Punktes wahrgenommen, zumal wenn die auffangende Fläche ziemlich weit entfernt ist. Läßt man das Strahlenbündel auf ein photographisches Papier fallen, welches von einer horizontal liegenden Walze auf eine zweite sich wickelt und auf welchem die Grade als senkrechte Linien gezeichnet sind, so werden die magnetischen Schwankungen als eine Curve darauf verzeichnet.

Meteorologische Lichtbilder.

Diese Anwendungen haben der Wissenschaft schon bedeutende Dienste geleistet. Den beobachtenden Meteorologen ist die ungeheure Last abgenommen, täglich in bestimmten Zwischenräumen mit verschärften Sinnen zu beobachten und die Beobachtungen aufzuschreiben; es ist jetzt Nichts weiter nöthig, als die Lampe im Stande zu erhalten, von Zeit zu Zeit die Uhr aufzuziehen, eine Walze mit frischem Papier einzusetzen und das herausgenommene zu fixiren. Die mit so geringer Mühe erlangten, durch das Licht gezeichneten Curven geben — und das ist ihr Hauptvorzug — ein weit anschaulicheres und richtigeres Bild der stattgehabten meteorologischen Veränderungen, als die mit größter Sorgfalt geführten Tabellen, da keine Beobachtungsfehler mit unterlaufen und die Aufzeichnung keinen Augenblick unterbrochen wird.

Digitized by Google

Nachtrag
zur electrischen Telegraphie.

Caselli in Florenz soll einen Telegraphen erfunden und in neuester Zeit damit Proben abgelegt haben, mit welchem sich die Schriftzüge, Zeichnungen u. s. w. direkt telegraphiren lassen. Mit der Möglichkeit, die Originalschrift der Depesche, also jede Namensunterschrift, Geheimschrift u. s. w. telegraphisch zu befördern, wäre die Telegraphie unstreitig bis zur höchsten Stufe der Vollendung ausgebildet. In Verbindung mit der Stenographie könnte zugleich die größte Geschwindigkeit erreicht werden.

Da über die Construction dieses sogenannten Pantotelegraphen noch nichts bekannt geworden ist, so müssen wir uns bescheiden, das Nähere abzuwarten, mit dem Wunsche, daß die Zeitungsnachrichten sich bestätigen mögen.

Digitized by Google

Chemie und chemische Technologie.

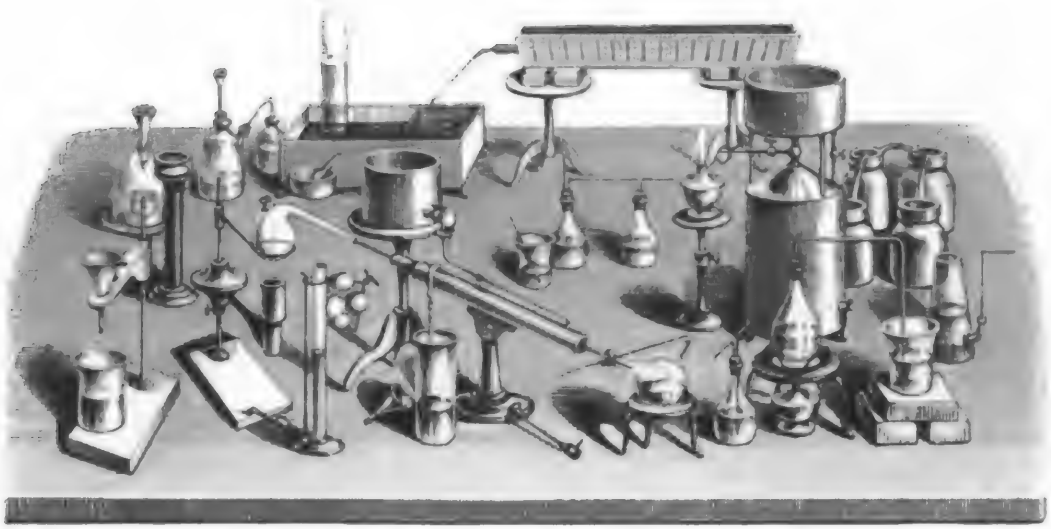
Von

Dr. J. Gottlieb,

Professor in Gratz.

Digitized by Google

Digitized by Google



I.

Die Entwicklung der neueren Chemie.

Einleitung.

Wer je einen Eisenhohofen besuchte und die gewaltigen Mittel beobachtete, welche in Anwendung gebracht werden müssen, um dem Erze das Eisen abzuringen, wird gewiß nicht das lebhafte Interesse in Abrede stellen, welches ihm die dabei stattfindenden Vorgänge einflößten. Die großen Quantitäten Brennstoff, die er gemeinschaftlich mit den Erzen auf der Gicht eintragen sah, das geschmolzene Eisen, die flüssige Schlacke, welche dagegen periodisch aus dem untersten Theile des Ofens abgelassen wurden, das Geräusch des Gebläses, dessen Thätigkeit unausgesetzt die Kohlen unter Entwicklung eines ungeheuren Hitzegrades verzehrte, und andere Erscheinungen haben ihn gewiß zu manchen Fragen angeregt und in ihm den Wunsch geweckt, sich über dieses Zusammenwirken so verschiedenartiger Stoffe und Kräfte eine genügend-klare Vorstellung machen zu können. Doch wird der Leser, welcher sich etwa in dieser Lage befunden, zugestehen müssen, daß ihn diesesmal oder in anderen ähnlichen Fällen besonders das Ungewohnte der betrachteten Erscheinungen anregte, daß, wenn er seine Jugendzeit in der Nähe eines Hohofens zugebracht, dieser ihn kaum zu irgend einer Frage, zum Nachdenken und Forschen aufgefordert hätte.

In einem ganz ähnlichen Verhältnisse befinden sich sehr Viele gegenüber von zahlreichen ebenso wichtigen als merkwürdigen Naturerscheinungen, deren Stetigkeit und allgemeines Auftreten ihnen den Reiz des Ungewöhnlichen und Auffallenden von vornherein benommen, die man fast immer vor sich hat und deßhalb in der Regel ganz gut erklärt zu haben glaubt, wenn man sie mit einem entsprechenden Worte bezeichnet. Welcher von den Lesern dieser Zeilen hat wohl nicht schon in freundlicher oder trüber Stimmung beim Scheine eines flackernden Feuers oder einer glänzend leuchtenden Lampe sich

Digitized by Google

der schwankenden Fluthung seines Nachdenkens überlassen und in einer kurzen Stunde hunderte von Ideen erwachen, viele Fragen auftauchen gesehen. Doch wird er kaum die Quelle des Lichtes und der Wärme, die ihm eben dienten, gewürdigt haben, auch nur einige Minuten dabei zu verweilen. Es ist eben eine Erscheinung, die er von zartester Kindheit her immer gesehen und benutzt, welche für ihn gar nichts Auffallendes oder Merkwürdiges haben kann, die er sogar leicht erklärlich finden wird. Das Holz im Kamin, das Oel in der Lampe brennen eben, deßhalb leuchten und wärmen sie, das scheint so klar und gewöhnlich, daß man es schwerlich der Mühe werth finden wird, darüber weiter nachzudenken, warum diese Stoffe brennen, und auch dafür ist die Erklärung bereit: sie wurden ja angezündet und müssen also brennen. Wir wollen nun versuchen darzustellen, zu welchen Resultaten der Leser hätte gelangen müssen, falls er sich mit diesen Nichts erklärenden Worten nicht begnügt, sondern sich über die tausendmal beobachtete Thatsache eine weiterreichende Rechenschaft zu geben versucht hätte.

Zunächst wird ihm wohl kaum entgangen sein, daß weder Holz noch Oel beständig fortbrennen, daß sie vielmehr nach einiger Zeit verschwinden. Die Lampe ist endlich leer geworden, im Kamine finden wir nur eine kleine Menge Asche, der Brenn- und Leuchtstoff, den wir zur Verwendung brachten, existirt nicht mehr und kann uns also auch nicht weiter dienen. Doch waren sie ja etwas stofflich Gegebenes, ein Theil der uns umgebenden Körperwelt, Materie. Was ist aus ihr geworden? Bei oberflächlicher Beobachtung der Erscheinung können wir uns kaum eine andere Erklärung geben, als, der Brennstoff habe aufgehört zu sein. Gegen diese Annahme sträuben wir uns mit Recht. Sie enthält eine Voraussetzung, welche, consequent durchgeführt, uns im trostlosesten Dunkel läßt. Wir sind dann genöthigt anzunehmen, daß alles Stoffliche zu verschwinden, sich in Nichts aufzulösen vermöge. Wenn wir aber bedenken, wie viele Jahrtausende hindurch Vorgänge, wie die Verbrennung von Holz- und Leuchtstoffen, unausgesetzt in Thätigkeit sind, wie undenkbar groß die Masse des Holzes allein ist, welches nur in der von der Geschichte erreichbaren Zeit der Verbrennung anheim fiel, wenn wir andererseits uns in Erinnerung bringen, daß die beständig sich erneuernde Vegetation das Menschengeschlecht unausgesetzt mit Holz, Oel und anderen Brennstoffen versieht, die also in dem Maße wieder zu entstehen scheinen, als sie durch die Verbrennung zerstört wurden: so drängt sich uns die Vermuthung auf, daß die Verbrennung keineswegs eine Vernichtung der Stoffe, welche ihr verfallen, veranlaßt hat, daß diese vielmehr nur ihre Eigenschaften veränderten, sich dabei einer oberflächlichen Beobachtung völlig entzogen, aber ihre Existenz nicht eingebüßt, sogar die Fähigkeit bewahrt haben, wieder unter günstigen Umständen die Form anzunehmen, in welcher sie sich bereits früher befunden. Durch die gewöhnlichsten Beobachtungen und bekanntesten Thatsachen geleitet, wird sich deßhalb wohl bei Jedermann die Ansicht feststellen, daß die Materie, der Stoff, dessen mannigfaltige Formen und Eigenschaften in ihrer Gesammtheit die Natur bilden, etwas Unvergängliches sei, welches wohl seine Beschaffenheit zu verändern, aber nie zu verschwinden, sich in Nichts zu verlieren vermag.

Die Materie ist nicht vergänglich.

Wenn wir nun genauer zusehen, was eigentlich bei der Verbrennung des Oeles in der Lampe vorgegangen, so lehren uns sorgfältige, über diesen Gegenstand angestellte Versuche und Beobachtungen, daß unter Vermittlung eines Bestandtheils der Luft aus dem Oele zwei gasförmige Körper ent-

Der Vorgang bei einer Verbrennung.

Digitized by Google

ſtanden ſind, die alſo ſchon durch ihren Cohäſionszuſtand von der Subſtanz, welche zu ihrer Bildung diente, ſich weſentlich unterſcheiden. Der eine dieſer Körper iſt Waſſerdampf, der andere ein Gas, welches, unter dem Namen Kohlenſäure bekannt, ſich in der Luft und Erde findet, im Quellwaſſer gelöſt, dieſem ſeinen erfriſchenden Geſchmack ertheilt, in den Schaumweinen, dem Sodawaſſer und ähnlichen Getränken durch Druck in reichlicher Quantität verdichtet, deren bekannte beliebte Eigenſchaften hervorruft, kurz in keiner Weiſe an den Körper erinnert, durch deſſen Verbrennung es neben Waſſer entſtanden.

Die Metamorphoſe des Stoffes.

Solche Umwandlungen, wie wir ſie bei der Verbrennung des Leuchtſtoffes kurz angedeutet, begegnen dem aufmerkſamen Beobachter der Natur in tauſendfacher Form und unter den mannigfaltigſten Umſtänden. Sie beweiſen ihm, daß die Materie, wenn ſie auch ihrer Menge nach keine Veränderungen erleidet, doch in einer beſtändigen Metamorphoſe begriffen iſt. Die ſtarre lebloſe Erdrinde ſcheint als ſolche am allerwenigſten derlei Veränderungen unterworfen zu ſein. Doch widerſteht auch ſie nicht dem allmächtigen Drange nach Wechſel, nur geht dieſer ſehr langſam, ſomit faſt unmerklich vor ſich. Bei den Organismen jedoch, deren Entſtehung und Entwicklung gewöhnlich innerhalb eines Zeitraumes verlaufen, der uns eine genauere Betrachtung der dabei ſtattfindenden Umwandlungen des Stoffes geſtattet, iſt die Metamorphoſe der Materie deutlicher und raſcher, und wir vermögen ſie deßhalb auch leichter zu bemerken. Der Same einer Pflanze z. B. entwickelt ſich beinahe ſichtlich, wenn er in den feuchten Boden gelegt wird, bald haben ſich Würzelchen, Samenblätter und der Stiel gebildet, am letzteren entſtehen Blätter und Blüthen, deren Farbe und Duft uns oft erfreuen. Die Frucht birgt endlich mehrere Samen von derſelben Beſchaffenheit und Lebensfähigkeit, wie ſie jener zeigte, aus welchem die ganze Pflanze hervorgegangen. Sie entwickeln ſich zu neuen Organismen, deren Vorgängerin vor unſeren Augen verwelkt, verweſt und endlich gänzlich verſchwindet. Wer wird wohl glauben können, daß all das Stoffliche, welches ſich in der ausgebildeten Pflanze vorfindet, bereits urſprünglich im Samenkorn geweſen? Schon der Umſtand, daß mehrere gleiche Samen daraus entſtanden und zudem noch die übrigen Theile der Pflanze, beweiſt uns auf das Unwiderleglichſte, daß viel von Außen zugeführt worden ſein mußte. Wir bemerken aber keine Spur des Riechſtoffes, der ſich in der Blüthe eingeſtellt, des Zuckers, den wir etwa in der Frucht fanden, der grünen Farbe, welche die Blätter ſchmückte und ſo vieler anderer Subſtanzen in der Nähe der Pflanze. Sie konnte dieſe alſo unmittelbar nicht aufgenommen haben, weder Boden noch Luft waren im Stande, ihr ſelbe zu bieten. Dieſe Stoffe ſind alſo gewiß aus anderen entſtanden, die, obwohl in ihren Eigenſchaften von den genannten Umwandlungsprodukten unendlich verſchieden, doch die Fähigkeit beſeſſen haben, Blüthenduft, Zucker, grünen Farbſtoff u. ſ. w. hervorzubringen. Es iſt klar, daß hier von Veränderungen die Rede iſt, die ſich ſehr weſentlich von jenen unterſcheiden, welche die Körper durch äußere mechaniſche oder phyſikaliſche Einflüſſe erleiden, von denen ausführlicher in den vorhergehenden Abſchnitten dieſes Buches die Rede war. Wenn wir Eiſen durch paſſende Vorrichtungen in ein ſehr feines Pulver verwandeln, deſſen Ausſehen gar nicht mehr an das bekannte Metall erinnert, ſo iſt doch jedes kleinſte Theilchen des Pulvers nichts als Eiſen. Haben wir ein Stück Eiſen magnetiſch gemacht, iſt es dennoch Eiſen geblieben; ebenſo wenn wir einen electriſchen Strom hindurchleiten oder es durch eine ſehr hohe Temperatur flüſſig machen, d. h. ſchmelzen. Selbſt die

Digitized by Google

Erfahrung des gewöhnlichen Lebens zeigt uns aber, daß das Eisen unter gewissen Umständen alle seine Eigenschaften einbüßen kann. Es rostet z. B., verwandelt sich in einen braunen pulverförmigen Körper, der Anfangs nur die Oberfläche des Metalls bedeckt, später aber den Zusammenhang desselben ganz aufhebt. Mögen wir den Eisenrost noch so fein vertheilen, wir werden doch keine Spur von Eisen darin mehr wahrnehmen können. Seine kleinsten Theilchen sind nun eben so gleichartig unter sich, wie es vorhin beim Eisenpulver der Fall gewesen.

Gegenstand der Chemie.

Die tausendfältigen Umwandlungen nun, welche die Materie in Folge theils natürlicher, theils künstlich von uns hervorgerufener Verhältnisse erleidet, zu erklären, auf unveränderlich und regelmäßig wirkende Eigenschaften der Körper zurückzuführen, die Gesetze, nach welchen diese Metamorphosen erfolgen, aufzufinden, ist die Aufgabe der Chemie.

Die Ableitung des Namens unserer Wissenschaft ist nicht völlig aufgeklärt, die meisten vereinigen sich aber dahin, daß er von dem Worte χημία, welches Egypten bezeichnet, wo sich frühzeitig chemische Kenntnisse entwickelten, abstamme. Doch hat man, seit der Name Chemie allgemein in Gebrauch kam, an denselben keineswegs immer eine gleiche wissenschaftliche Bedeutung geknüpft, sondern verschiedene Bestrebungen, welche jedoch stets mit der Umwandlung der Materie in Zusammenhang standen, damit bezeichnet, wie aus dem Folgenden deutlicher hervorgehen soll.

Chemische Kenntnisse der Alten.

Die alten Culturvölker befanden sich den chemischen Naturerscheinungen gegenüber ganz in derselben Lage, wie der oben erwähnte unbefangen sinnende Leser. Die Gewohnheit unterdrückte bei ihnen jede Anregung, eine Erklärung für Umwandlungen der Form und inneren Beschaffenheit jener Körper zu suchen, mit welchen sie in steter Wechselwirkung standen, so daß ihnen die Metamorphosen derselben nichts Auffallendes darboten. Die wenigen damals bekannten, durch chemische Kräfte aus Naturprodukten künstlich erzeugten Gegenstände des Gebrauchs und Verkehrs, wie Glas, gebrannter Thon, einige Farben, Metalle, deren Legirungen u. s. w., vermochten namentlich bei den Griechen nicht, da diese, von der Beobachtung des thatsächlich Gegebenen absehend, die Erklärung der Naturerscheinungen nahezu ausschließlich durch Speculation zu erreichen meinten, dazu anzuregen. Wenn Aristoteles mit seinen vier Elementen, dem Feuer, Wasser, der Luft und Erde alles Materielle zu umschließen und aus den Combinationen dieser Elemente sämmtliche Verschiedenheiten der Körperwelt zu erklären suchte, so war er weit davon entfernt, mit dem Worte Element einen Begriff bezeichnen zu wollen, der im Geringsten an die Bedeutung des Wortes erinnert, welche die neuere Chemie damit verknüpft. Ihm waren die vier Elemente verschiedene Summen bestimmter Eigenschaften, die in mannigfaltigen Verhältnissen sich an einem Körper äußernd, die Beschaffenheit desselben bedingen sollten. Diese Vorstellung wurde durch Jahrhunderte festgehalten und dem jeweiligen Standpunkte der Erfahrung anzupassen gesucht. Es ist klar, daß, wenn die Körper die Fähigkeit besitzen, sich unter verschiedenen Umständen umzuwandeln, ihre ursprünglichen Eigenschaften mit anderen neuen zu vertauschen, dieß nicht nur geschehen wird, wenn die natürlichen Verhältnisse einer solchen Umwandlung günstig sind, sondern auch dann, wenn wir sie künstlich in eine Lage bringen, die eine Metamorphose bedingt, welche nicht eintreten könnte, falls der Körper sich selbst und den natürlichen Einflüssen allein überlassen worden wäre. So führte zumeist der Zufall die Entdeckung chemischer Kunstprodukte herbei. Die Um-

Die Elemente des Aristoteles.

Digitized by Google

stände, unter welchen sie entstehen, wurden im Ganzen sehr wenig beachtet, und jene, die sich mit speculativer Naturforschung damals beschäftigten, wendeten diesen scheinbar völlig untergeordneten Verhältnissen nur eine geringe Aufmerksamkeit zu. Eine Ausnahme machten in dieser Beziehung nur die Egyptier, deren Priester sich in der Kunst, die Körper chemischen Umwandlungen zu unterwerfen, größere Fertigkeit verschafft, diese aber unter dem Schutze ihrer Mysterien vor dem Uneingeweihten sehr geheim gehalten zu haben scheinen. Von den eigentlichen Kenntnissen, welche unter den Priestern Egyptens verbreitet waren, liegen uns nur sehr dürftige Nachrichten vor, aus denen jedoch mit vieler Wahrscheinlichkeit hervorgeht, daß die chemische Metamorphose ihnen einestheils nur zur Herstellung gewisser vielseitig angewendeter Produkte, wie Glas und Farben, anderntheils aber als Gegenstand mystischer Deutung diente. Ein Versuch, die ihnen bekannten Thatsachen zu erklären, auf eine gemeinsame Ursache zurückzuführen, scheint damals noch nicht gemacht worden zu sein. Von Egypten aus verbreiteten sich die dort gesammelten chemischen Erfahrungen durch reisende Philosophen nach Griechenland und weiter zu den Römern, ohne jedoch, wie bemerkt, bei diesen beiden Culturvölkern eine besondere Beachtung zu finden. Die Unterjochung Egyptens durch die Araber machte den wissenschaftlichen Fortschritten der alexandrinischen Schule, welche als Centralpunkt der geistigen Bestrebungen Egyptens und Griechenlands durch Jahrhunderte die größte Bedeutung hatte, ein Ende. Obwohl die Araber zur Zeit ihrer Eroberungskriege die Pflege der Wissenschaften, wie leicht erklärlich, ganz vernachlässigten, erhielten sich unter ihnen dennoch Kenntnisse und Sinn für Wissenschaft rege und es waren namentlich die während ihrer Eroberungszüge unterworfenen Culturvölker, denen es zu verdanken ist, daß, nachdem die Araber mehrere Reiche gegründet und sich darin befestigt hatten, neben anderen auch die chemischen Bestrebungen bei ihnen einen fruchtbaren Boden der Fortbildung fanden.

Chemie in Egypten cultivirt.

Chemische Kenntnisse der Araber.

Zu dieser Zeit ohngefähr machte sich eine Richtung in der Entwicklung der Chemie geltend, welche, obwohl an sich ganz verfehlt, und jeder wahrhaften Grundlage entbehrend, dennoch für unsere Wissenschaft von den bedeutendsten Folgen war, da sie im hohen Grade die chemischen Kenntnisse und Erfahrungen erweiterte. Es ist dieß die Alchemie, welche durch mehrere Jahrhunderte die Thätigkeit aller jener in Anspruch nahm, welche sich überhaupt mit chemischen Erscheinungen zu beschäftigen veranlaßt wurden. Bekanntlich umfaßt die Alchemie die Lehre von der Umwandlung unedler Metalle in Gold, und es ist begreiflich, daß zu einer Zeit, wo die chemischen Erfahrungen noch so dürftig verbreitet, ihre Mittheilung so erschwert, endlich Aberglaube und Habsucht gleich mächtig waren, wo die wenigen Kenntnisse, die man besaß, die Annahme, daß sich Gold aus anderen Stoffen erzeugen lasse, eher zu rechtfertigen als zu widerlegen schienen, die Alchemie so viele Anhänger fand, die sich selbst durch spätere Entwicklungsperioden der Chemie fortpflanzten, ja noch, obwohl spärlich, auch in unserm erleuchteten Jahrhundert auftauchten.

Entwicklung der Alchemie.

Um den Standpunkt, welchen die Alchemie einnahm, auffassen, ihren Einfluß auf unsere Wissenschaft erklären zu können, ist es nöthig, einige der wichtigeren chemischen Thatsachen, welche den Vorgängern der Alchemisten bereits bekannt waren, etwas näher zu betrachten. Sie sollen zugleich den Faden vorstellen, an dem wir uns durch die verschiedenen Irrthümer finden können, welche die Erkenntniß der Wahrheit durch so lange Zeit hintenanhielten.

Kenntnisse der Alchemisten.

Digitized by Google

Aus den zu Anfang dieser Zeilen niedergelegten Andeutungen über die Verbrennung geht deutlich hervor, daß das Feuer an sich nichts Materielles, sondern nur eine die chemische Verwandlung des Stoffes zuweilen begleitende Erscheinung sei. Wie Aristoteles, und mit ihm viele andere Naturphilosophen, das Feuer für etwas Materielles nahmen und in dieser Hinsicht dem Wasser, der Luft und der Erde, denen man das Stoffliche in ihrem Wesen nicht absprechen kann, gleichstellten, wurde oben mitgetheilt. Natürlich hielten es die Philosophen für überflüssig das Feuer zu erklären; es war ihnen etwas Gegebenes, welches sie gerade im Gegentheil glaubten zur Erklärung anderer Erscheinungen und Verhältnisse benützen zu dürfen. Doch konnte ihnen und besonders jenen, welche sich praktisch mit der Herstellung chemischer Kunstprodukte befaßten, die Wirkung des Feuers oder vielmehr der dadurch hervorgerufenen hohen Temperatur, nicht entgehen. Man wußte Kupfer, Zinn, Blei und später Eisen durch Schmelzen aus den Erzen zu gewinnen und diese Metalle mittelst des Feuers in andere Substanzen umzuwandeln. Daß beim Glühen derselben an der Oberfläche Körper entstehen, die in ihren Eigenschaften gar nicht mehr an die Metalle, aus welchen sie sich bildeten, erinnern, war eine damals allgemein bekannte Thatsache. Auch die Eigenschaften der so gewonnenen Produkte, die Verschiedenheit derselben je nach der Natur des benützten Metalles, blieben nicht verborgen. Man wußte, daß unter den bezeichneten Umständen Kupfer ein schwarzes, Zinn ein weißes, Blei ein gelbes oder bei längerem Erhitzen hellrothes, das Eisen ein dunkelbraunes Produkt lieferten, daß, wenn man die Einwirkung des Feuers hinreichend fortsetzte, die Metalle endlich vollständig in die bezeichneten Körper übergingen und keine Spur derselben unverändert zurückblieb. Ebenso hatte man beobachtet, wie Kupfer, Zinn und Blei in passenden Verhältnissen zusammengeschmolzen ein metallisches Produkt lieferten, welches sich wesentlich von jedem der zugesetzten Metalle unterschied und für viele Zwecke tauglicher erschien, als das Kupfer oder Zinn für sich. Unter den in frühester Zeit gekannten Metallen sind Silber und Gold zu nennen. Da ersteres häufig, das Gold nahezu immer, natürlich im gediegenen Zustande angetroffen und deßhalb leicht erkannt und mechanisch abgeschieden wird, waren sie lange, bevor man andere Metalle gewinnen lernte, bekannt und wegen ihres Glanzes, der schönen Farbe, Geschmeidigkeit und Unveränderlichkeit von jeher sehr geschätzt. Die Unveränderlichkeit beim Gebrauch, so wie im Feuer, welche den Namen edle Metalle im Gegensatze zu den unedlen, wie Eisen, Blei, entstehen und allgemein annehmen ließ, führte natürlich zu Versuchen, diesen Unterschied zu erklären. Es läßt sich nicht mit Sicherheit ermitteln, von wem die solchen Versuchen einer Erklärung endlich entsprossenen Ansichten über die Natur der Metalle zuerst aufgestellt wurden. Doch finden wir sie im 8ten Jahrhundert unserer Zeitrechnung ziemlich allgemein angenommen, besonders von Geber, dem berühmtesten der arabischen Chemiker, ausgesprochen. Darnach wären alle Metalle aus Quecksilber und Schwefel zusammengesetzt.

Theorie über die Natur der Metalle.

Diese beiden Stoffe waren zu jener Zeit schon bekannt, was aber ihr Vorhandensein in den Metallen anlangt, so neigte man sich allgemein der Ansicht zu, daß Schwefel und Quecksilber, welche in verschiedenen Verhältnissen vereint die Metalle bilden, von den gewöhnlichen isolirten Körpern dieses Namens verschieden sind, daß sie sich in den Metallen reiner, mit etwas veränderten Eigenschaften, mehr oder weniger fixirt u. s. w. vorfinden.

Digitized by Google

Nachdem diese Ansicht als die richtige anerkannt war, konnte es nicht ausbleiben, daß sich die Aufmerksamkeit aller der Metallverwandlung zuwandte, und das Streben, aus unedlen Metallen Gold zu erzeugen, sämmtliche Chemiker ausschließlich beschäftigte. So entstand die Alchemie. Das Zeitalter, in welchem die alchemistischen Bestrebungen völlig vorherrschten, die Gewinnung künstlichen Goldes das einzige Ziel aller abgab, welche sich mit chemischen Erscheinungen befaßten, ist reich an den abenteuerlichsten Ausgeburten des Aberglaubens, willkührlichen und unwillkührlichen Betrugs, der Habsucht und des damals überall vorherrschenden Mysticismus. Alles Streben vereinigte sich dahin, den sogenannten Stein der Weisen zu finden, dem man die Eigenschaft zuschrieb, mit unedlen Metallen zusammengeschmolzen, eine große Menge derselben in Gold zu verwandeln. Viele gaben vor, ihn gefunden zu haben, andere gestanden offen, daß dieses ihnen noch nicht gelungen, daß sie sich aber der Vollendung des großen Werkes beträchtlich genähert haben, keiner bestritt die Möglichkeit desselben, alle aber befleißigten sich in ihren Schriften einer völlig geheimnißvollen mystischen Sprache, verhüllten die einfachsten Vorgänge durch allegorische Bezeichnungen, und suchten damit ihre Unfähigkeit oder das vermeintlich Errungene vor dem Uneingeweihten zu verbergen. So reich die Periode der Alchemie an Verirrungen aller Art ist, so läßt sich dennoch nicht läugnen, daß diese Bestrebungen den nachfolgenden Chemikern den großen Vortheil einer bedeutenden Anzahl beobachteter Thatsachen übermittelten, welche als Grundlage weiterer Forschungen zu dienen geeignet waren, denn die Alchemisten sahen sich angewiesen, die ihnen von der Natur gebotenen Stoffe mit mehr Aufmerksamkeit aufzusuchen und zu beobachten, als dies früher der Fall gewesen. Dabei war es unmöglich, daß die vielseitigen Versuche, denen man verschiedene Körper unterwarf, nicht zuweilen zufällig Umwandlungsprodukte lieferten, deren Eigenschaften die Aufmerksamkeit der Alchemisten fesselte und welche zu bereiten diese lehrten und lernten, um sie gelegentlich zu ihrem Specialzweck benützen zu können. Mit der Erweiterung der Kenntniß und Zahl solcher neu aufgefundenen Stoffe hielt die Ausbildung in der Fertigkeit, die Körper bestimmten Umwandlungen zu unterwerfen und die hierzu geeigneten Behelfe handzuhaben, gleichen Schritt. Anfangs war es fast ausschließlich das Feuer (die Hitze), dessen Wirkung man an den umzuwandelnden Substanzen erprobte. Die passende Einrichtung von Oefen, die Herstellung von Gefäßen, in welchen man Metalle u. s. w. einer hohen Temperatur aussetzen konnte, beschäftigte die Praktiker ebenso wie die Alchemisten. Die Beobachtung, daß durch Wärme gewisse Körper sich verflüchtigen, führte zur Auffindung einer Operation, die noch heute in den verschiedensten Modificationen zur Anwendung kommt und den Namen Destillation erhielt, den sie auch noch gegenwärtig führt.

Der Stein der Weisen.

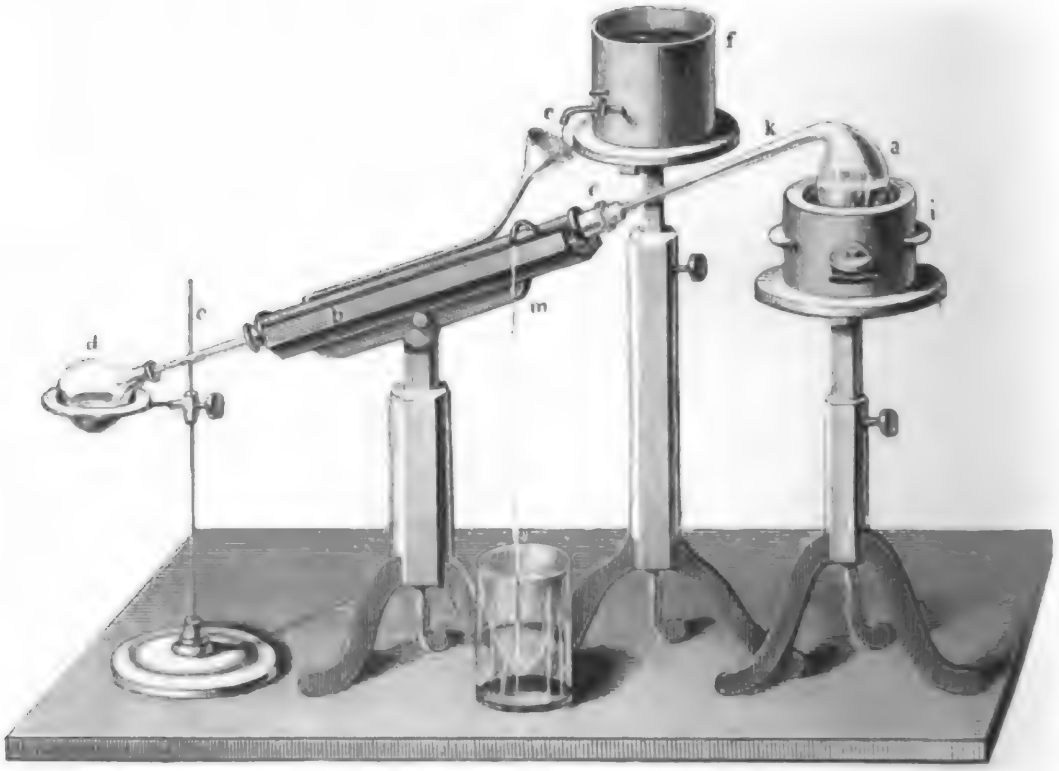
Destillation.

Bekanntlich besitzen flüchtige Körper die Fähigkeit, wenn ihnen Wärme zugeführt wird, diese zu binden und dann in den elastisch flüssigen Zustand überzugehen. Es wurde bereits in der Physik erklärt, wie die so hervorgebrachten Dämpfe sich wieder verdichten, die Körper den ursprünglichen Cohäsionszustand wieder annehmen, falls man ihnen durch Berührung mit kalten Stoffen die latente Dampfwärme wieder entzieht. Obwohl die Ursache dieser Erscheinung damals keineswegs erkannt ward und man sich dieselbe durch gewisse, ganz unbegründete, Annahmen erklärte, wenn überhaupt das Bedürfniß einer Erklärung sich fühlbar machte, so entging es keineswegs, daß dieses Verhalten geeignet ist, flüchtige Körper von anderen minder oder

Digitized by Google

gar nicht flüchtigen abzutrennen. Von den jetzt gebräuchlichen Deſtillationsvorrichtungen in ihrer Geſtalt weſentlich verſchieden, obwohl wie natürlich nach demſelben Princip eingerichtet, beſtanden die Apparate der Alten aus einem Gefäße, welches die zu verflüchtigende Subſtanz aufnahm, und einem damit in Verbindung gebrachten Theil, wohin ſich die beim Erwärmen entwickelten Dämpfe begaben, um ſich dort durch Abkühlung zu condenſiren und in einem anderen Gefäße der Vorlage anzuſammeln. Die roheſte Vorrichtung dieſer Art, von welcher eine Nachricht bis zu uns gelangte, beſchreiben Dioscorides und Plinius. Sie diente zur Gewinnung des flüchtigen Oeles aus gewiſſen Harzen und beſtand aus einem irdenen Gefäße, deſſen Boden erwärmt wurde, während es mit Wolle bedeckt war. Die flüchtigen Oele wurden zum Theil in der Wolle verdichtet und durch nachheriges Auspreſſen derſelben gewonnen. Wie unvollkommen iſt dieſer Vorgang im Vergleich mit der jetzt gebräuchlichen Methode! Das moderne Deſtillationsgefäß, welches die Chemiker gegenwärtig in ihren Laboratorien anwenden, heißt Retorte. Man verfertigt es gewöhnlich aus Glas in den verſchiedenſten Größen. Die Retorte a (Fig. 248) iſt ein birnförmiges,

(Fig. 248.)



mit langem nach abwärts geneigtem Halſe k verſehenes Gefäß, deren Boden man Behufs der Deſtillation erwärmt. Bei minder flüchtigen Subſtanzen reichen zuweilen die Wände des Retortenhalſes zur Abkühlung aus. In ſehr vielen Fällen aber muß man für letztere beſonders ſorgen, und dieß geſchieht in der Regel vermittelſt des Liebig'ſchen Kühlers. Er beſteht zunächſt aus einem Glasrohre c, mit welchem man den Retortenhals verbindet, ſo daß das Rohr gleichſam eine Fortſetzung des Halſes vorſtellt. Dieſes Kühlrohr

ist von einem weiteren aus Metallblech angefertigten Rohr b umgeben. Aus dem Gefäße f läßt man nun beständig kaltes Wasser durch e in den tiefsten Theil des Metallrohres fließen, während das erwärmte Kühlwasser oben bei m gleichmäßig in das untergesetzte Gefäß g abläuft. Dadurch wird der aus der Retorte strömende Dampf sehr vollständig abgekühlt und die Flüssigkeit, das Destillat, sammelt sich in der Vorlage d an. Sehr häufig, namentlich bei Destillationen im Großen, giebt man dem Kühlrohre eine spiralförmig gewundene Gestalt und setzt es in ein größeres Gefäß, das Kühlfaß, worin sich kaltes Wasser befindet.

Sublimation.

Eine andere, auf demselben Principe beruhende, Operation bezweckt feste Körper zu verflüchtigen, welche sich natürlich bei der Condensation wieder als solche im kälteren Theile des Apparates verdichten. Man nennt dieß Sublimiren, die Operation selbst heißt Sublimation und war den Alchemisten auch schon bekannt. Das Gefäß, in welchem man die Sublimation vornimmt, ist gewöhnlich mit keiner Kühlvorrichtung versehen, sondern das verflüchtigte Produkt, Sublimat, verdichtet sich an den kühlern unbeheizten Wänden des Sublimationsgefäßes selbst und muß nach beendigter Operation mechanisch von denselben (bei gläsernen Vorrichtungen meist erst nach ihrer Zertrümmerung) abgelöst werden.

Auflösung.

Auch das Auflösen und Kristallisirenlassen der Körper aus den so gewonnenen Flüssigkeiten war den Alchemisten schon bekannt, obwohl sie dieses Mittel, sowie die Fällung (Präcipitation) starrer Substanzen aus Flüssigkeiten weniger angewendet zu haben scheinen, als die durch Vermittlung höherer Hitzegrade zu erzielenden Veränderungen. Es ist passend, auch über diese Operationen die dem gegenwärtigen Standpunkte unserer Kenntnisse entsprechende Erläuterung schon hier zu geben. Wir wissen, nach dem schon früher über die Beschaffenheit der Flüssigkeiten Mitgetheilten, daß diese das Vermögen besitzen, verschiedene starre Körper in Folge der zur Wirksamkeit gelangenden Adhäsion in den flüssigen Zustand zu versetzen und sich damit hierauf innig zu mengen. Dieser Vorgang wird bekanntlich Lösung oder Auflösung genannt, mit welchen Namen man auch die Flüssigkeit, welche einen oder mehrere starre Körper gelöst enthält, zu bezeichnen pflegt. Gerade wie durch Zuführung von Wärme starre Körper flüssig gemacht, geschmolzen werden können, ist auch der Act der Auflösung von der Bindung einer gewissen Menge Wärme begleitet und die im Uebrigen von der Natur des zu lösenden Körpers und der Flüssigkeit, des sogenannten Lösungsmittels, abhängige Quantität der aufgenommenen Substanz wird mit der Temperatur des Lösungsmittels in der Regel gesteigert; nur in seltenen Fällen stimmt eine höhere Temperatur die Löslichkeit eines Körpers herab. Es bedarf wohl kaum näher besprochen zu werden, daß nicht alle starre Körper in allen bekannten Flüssigkeiten gleich oder überhaupt löslich sind. Jedermann kennt die Löslichkeit des Zuckers oder Kochsalzes in Wasser, während bekanntlich diese Flüssigkeit Metalle, Kohle und viele andere Körper gar nicht oder nur in höchst geringer Menge aufnimmt. Das Kochsalz ist in reinem Weingeist, Aether und manchen anderen Flüssigkeiten völlig unlöslich. Diese nehmen dagegen reichlich Fette, Harze u. s. w. auf; Stoffe, denen gegenüber sich das Wasser völlig indifferent verhält. Es herrschen nach diesen wenigen Andeutungen in dem dießfälligen Verhalten der Körper sehr bedeutende Unterschiede, von welchen wir gestehen müssen, daß eine genügende Erklärung derselben bis jetzt zu geben noch nicht möglich war. Am allerwenigsten konnte man

Digitized by Google

für diese mannigfaltigen Modificationen in der Aeußerung der Adhäsion ein einfaches Gesetz aufstellen.

Fragen wir nach den Mitteln, die man zur Anwendung bringen kann, um aus einer Lösung den darin vorfindlichen starren Körper wieder zu gewinnen, so bieten sich uns mehrere Wege dar. Das einfachste Verfahren ist eine passende Beseitigung des Lösungsmittels, und dazu wird gewöhnlich die Verdampfung der Flüssigkeit benützt, wenn diese überhaupt flüchtig ist. Dieses Mittel kommt gewöhnlich zur Anwendung, und man leitet entweder die langsame Verdunstung an der Luft, oder das raschere Verdampfen durch Erwärmen von Außen ein. Ein zweiter Behelf besteht in der passenden Umwandlung des Lösungsmittels, wodurch es unfähig wird, den Körper weiter flüssig zu erhalten. So sind z. B. viele Salze im Wasser sehr leicht, dagegen in, selbst mit viel Wasser vermischtem, Weingeist gar nicht löslich. Man hat in diesem Falle daher nur nöthig, der wässrigen Lösung starken reinen Weingeist zuzusetzen, um so eine Flüssigkeit herzustellen, in welcher das Salz nicht mehr gelöst verharren kann, und dieses muß sich daher im starren Zustande wieder abscheiden. Da ferner die Wärme die Löslichkeit gewöhnlich steigert, so genügt in vielen Fällen eine Abkühlung der Lösung, um wenigstens einen Theil des aufgenommenen Körpers in den starren Zustand überzuführen. Eine Flüssigkeit, welche bei einer bestimmten Temperatur so viel eines gelösten Körpers enthält, als sie nach der Natur beider überhaupt aufzunehmen vermag, wird eine gesättigte Lösung genannt. Ist durch irgend eines der angeführten Mittel eine Substanz theilweise wieder abgeschieden worden, so nennt man die zurückbleibende Flüssigkeit Mutterlauge. Die mannigfaltigen Löslichkeitsverhältnisse der Körper bieten dem Chemiker sehr oft ein bequemes Mittel dar, um verschiedene Stoffe von einander zu trennen und in völlig reinem Zustande herzustellen. Der einfachste Fall ist wenn zwei Körper gemeinschaftlich auftreten, wovon der eine löslich, der andere unlöslich ist. Man braucht da nur das passende Lösungsmittel damit zusammenzubringen und erhält eine Flüssigkeit worin sich der eine Körper findet, während der andere zurückbleibt und durch Abseihen, Filtriren, davon leicht abgetrennt werden kann.

Filtriren. Zum Filtriren bedient man sich in den Laboratorien gewöhnlich des ungeleimten Papieres, welches die Flüssigkeit durchläßt, während die starren Körper davon zurückgehalten werden. Wo es sich um größere Massen von Flüssigkeiten handelt, wendet man in Rahmen gespannte Leinwand, Tuch u. dergl. an, oder läßt, falls es nicht auf eine gleichzeitige Gewinnung des unlöslichen Theils ankömmt, die Flüssigkeiten durch höhere Schichten von Stroh, gröblich gepulverten Quarz, Koks u. dergl. sickern. Finden sich mehrere Substanzen von verschiedener Löslichkeit gleichzeitig vor und ist es Aufgabe, sie von einander zu trennen, so löst man sie zusammen auf und bewirkt dann durch theilweises Verdunsten, daß sich der schwerst-lösliche Körper zum größeren Theile aus der Flüssigkeit begiebt. Ein weiteres Verdampfen veranlaßt hierauf die Abscheidung der löslichern Verbindung, während ein etwa noch vorhandener dritter noch löslicherer Körper in der Mutterlauge bleibt und schließlich ebenfalls durch Fortsetzung des Verfahrens gewonnen werden kann. Natürlich wird aber dabei vorerst keiner der drei Körper in völlig reinem Zustande erhalten, und es ist nöthig, mit den einzelnen Produkten das Verfahren ein oder mehrere Male zu wiederholen. In den Mutterlaugen bleiben dann immer noch Gemenge der verschiedenen Stoffe zurück.

Digitized by Google

Die Aufgabe, verschiedene Körper aus ihren Lösungen in reinem Zustande zu gewinnen, wird im hohen Grade durch die Fähigkeit vieler Stoffe erleichtert, beim Uebergange aus dem flüssigen in den starren Zustand zu krystallisiren. Ueber die Krystalle und ihre Formen soll später (in der Mineralogie) das Wesentlichste ausführlicher mitgetheilt werden. Hier genüge anzuführen, daß die Theilchen einer gleichartigen Substanz, wenn ihnen ihr Cohäsionszustand Beweglichkeit darbietet, beim Uebergang in den festen Zustand sich häufig zu regelmäßigen oder symmetrischen, von Flächen, Kanten und Körperwinkeln begrenzten Gestalten, vereinigen, deren Formen von der Natur des krystallisirten Körpers in hohem Grade abhängt und bei deren Bildung Theilchen eines zweiten, fremden Körpers, welchem die Fähigkeit abgeht, sich im Sinne der Gestalt der ersten Substanz neben einander zu lagern, nicht thätig sein können. Doch ist es ganz gut möglich, daß, während der Entstehung eines Krystalls, von demselben Theilchen eines fremden Körpers mechanisch eingeschlossen werden und wie man häufig beobachtet, den krystallisirten Stoff verunreinigen. Wiederholtes Auflösen und Krystallisirenlassen, das sogenannte Umkrystallisiren, beseitigt jedoch in der Regel die Beimengung fremder Substanzen, denn neben der verschiedenen Löslichkeit der Körper kömmt hier eben noch die Fähigkeit mit ins Spiel, regelmäßige Krystallgestalten zu liefern, deren Formen bei den verschiedenen Substanzen nicht übereinstimmen, während die in Entstehung begriffenen Krystallgebilde die homogenen Theilchen aus der Flüssigkeit anziehen, um sie beim Ausbau des Krystalls zu verwenden.

Krystallbildung.

Obwohl die Alchemisten den Kunstgriff, durch Krystallisation einen Körper rein darzustellen, bei einigen Substanzen in Anwendung zu bringen wußten, so blieben doch die Formen der so gewonnenen Krystalle als etwas Unwesentliches und Unerklärliches von ihnen und ihren nächsten Nachfolgern völlig unbeachtet, und es war der neueren Zeit vorbehalten, die Lehre von den Gestalten der Krystalle, die Krystallographie, wissenschaftlich zu behandeln, und wie wir später sehen werden, in vielen Fällen zwischen der Krystallgestalt und chemischen Beschaffenheit eines Körpers einen merkwürdigen Zusammenhang aufzufinden.

Kehren wir nach dieser Abschweifung wieder zu den Alchemisten zurück, so ist vor allem zu erwähnen, daß sich über den so emsig gesuchten Stein der Weisen allmälig eine neue Ansicht herausbildete, nach welcher er nicht nur gemeine Metalle in Gold umzuwandeln, sondern auch sämmtliche Krankheiten zu heilen, als Universalmedicin zu wirken vermöge. Wenn durch diesen Glauben auch der Eifer, nach diesem wundervollen Mittel mit allen Kräften zu suchen, eher gesteigert als abgekühlt werden mußte, so konnte es nicht fehlen, daß man hie und da versuchte, die bereits zu einer ziemlich großen Zahl angewachsenen, damals bekannten chemischen Produkte, nicht nur zu dem großen Werke, sondern auch als Heilmittel zu verwenden. Die deutlichen, zuweilen auch in der That ganz wohlthätigen Wirkungen, welche man bei der Anwendung gewisser Präparate zu Heilzwecken zu beobachten Gelegenheit hatte, waren Veranlassung, die bisher ausschließlich als Medicin verwandten Pflanzen und thierischen Produkte wenigstens theilweise zu verlassen und sich chemischer Präparate zu bedienen.

Der Stein der Weisen als Universal-Medicin.

Zugleich machte sich die Ansicht immer mehr geltend, daß die Gesundheitsverhältnisse des Organismus auf ganz ähnlichen Vorgängen beruhen, wie die Umwandlungen der Stoffe durch die künstlich eingeleiteten chemischen

Die Chemie wird ein Theil der Medicin.

Digitized by Google

Prozesse. Daraus entwickelte sich ein eigenes medicinisches System, welches, auf die eben mitgetheilte Hypothese gebaut, die Fortbildung der Chemie größtentheils den Aerzten zuwendete, während man die Auffindung des Steins der Weisen mehr Abentheuerern überließ, ohne jedoch dessen Existenz im Geringsten bezweifeln zu wollen. Die Metallverwandlung wurde seit dem Beginne des 16ten bis etwa zur Hälfte des 17ten Jahrhunderts wohl als möglich anerkannt, aber sie bildete nicht mehr die alleinige Aufgabe der Chemiker, deren Mehrzahl vorzugsweise der medicinischen Chemie huldigend, die Wirkung der chemischen Produkte auf den menschlichen Körper zu erklären und mit den Krankheitserscheinungen im Zusammenhang zu bringen strebte. So wurde die Chemie besonders auf Anstoß des berüchtigten Theophrastus Paracelsus ein Theil der Medicin und ihr Auftreten als selbständige Wissenschaft wieder auf einige Zeit hinausgeschoben, denn die Aufmerksamkeit der medicinischen Chemiker war keineswegs der Erklärung chemischer Erscheinungen als solchen gewidmet, sondern wurde diesen nur in sofern zugewendet, als man damit Krankheitsformen erklären und dieselben durch Anwendung chemischer Präparate heilen zu können glaubte. Nichts desto weniger ist diese Zeit, wo die medicinische Richtung in der Chemie völlig vorherrschte, für unsere Wissenschaft von großem Vortheil gewesen, da sich jetzt die Aerzte, denen im Allgemeinen eine größere Bildung und Naturkenntniß zur Seite stand, als den Alchemisten, mit vielem Interesse der Beobachtung chemischer Erscheinungen widmeten. Die zahlreichen Wahrnehmungen, welche die medicinischen Chemiker mit unbefangenerem Auge als die vor ihnen oder gleichzeitig thätigen Alchemisten prüften, erstreckten sich nun auch schon mehr als in den früheren Zeitaltern auf andere Zweige der Anwendung, und viele wesentliche Verbesserungen in der Anfertigung gewisser Produkte, wie Glas, Farben u. s. w., sowie in der Gewinnung der Metalle aus ihren Erzen, datiren aus dieser Periode. In dem Zeitalter der medicinischen Chemie erfuhren die Ansichten über die wichtigeren, damals bekannten chemischen Erscheinungen mancherlei Modificationen. So, wenn wir uns wieder der Metalle erinnern wollen, welche die Alchemisten aus Quecksilber und Schwefel bestehen ließen, nehmen die neueren Chemiker neben diesen beiden Stoffen noch einen dritten Körper darin vorhanden an, den sie als Salz bezeichnen, ohne sich aber über die Eigenschaften dieser drei Substanzen im isolirten Zustande einigen zu können, denn auch die medicinischen Chemiker verstehen unter diesen drei Namen, als Bestandtheile der Metalle gedacht, keineswegs gewöhnliches Quecksilber, Salz oder Schwefel.

Die Chemie erhebt sich zu einer selbständigen Wissenschaft.

Das Fortschreiten der Medicin, zahlreiche chemische Erfahrungen, welche sich mit den herrschenden Ansichten nicht in Einklang bringen ließen, veranlaßten in der Hälfte des 17ten Jahrhunderts, daß vorurtheilsfreie, mit umfassender Beobachtungsgabe ausgestattete Männer, wie namentlich zunächst Boyle, sich nicht mehr damit begnügten, chemische Umwandlungen kennen und für medicinische Zwecke benutzen zu lernen, sondern die alle hieher gehörigen Erscheinungen zu erklären, auf gemeinsame Ursachen zurückzuführen suchten. Von da an erhob sich die Chemie zu einer selbständigen Wissenschaft, welche, wenn sie auch einen großen Einfluß auf andere Wissenschaften, sowie Künste und Gewerbe sich bis heute bewahrte, doch immer mehr den Charakter einer Naturwissenschaft im vollsten Sinne dieses Wortes annahm. Die nun folgende Entwicklungsperiode der Chemie war noch sehr reich an Irrthümern, von welchen wir die wichtigsten, da sie für uns immerhin lehr-

Digitized by Google

reich genug sind, vorerst an den wenigen, bisher in diesen Zeilen berührten chemischen Erscheinungen erläutern wollen.

Die Metallkalke.

Daß die Chemiker schon in den früheren Jahrhunderten sich zu der Annahme veranlaßt fühlten, die Körper seien nichts völlig Homogenes, sondern aus Stoffen von verschiedener Beschaffenheit zusammengesetzt, wurde schon mehrmals berührt. Die Vorstellungen über diese Bestandtheile waren aber unklar und hingen unmittelbar mit den Zwecken zusammen, welche die Chemiker durch Beobachtung chemischer Vorgänge zu erreichen strebten. Die bereits Seite 408 erwähnte Umwandlung der Metalle beim Erhitzen erregte neuerdings die Aufmerksamkeit der Chemiker um so mehr, als sie aus Stoffen, welche mit den Metallen nichts gemein zu haben schienen, durch verschiedene Verfahrungsweisen Körper erhielten, welche mit den erwähnten Produkten in ihren äußeren und chemischen Eigenschaften die größte Aehnlichkeit zeigten. So, um hier vorläufig nur eines Falles zu erwähnen, war seit undenklichen Zeiten bekannt, daß durch Brennen von Kalksteinen ein Körper erhalten werde, der, mit Wasser zusammengebracht, unter Erhitzung, zu einem weißen Pulver zerfällt, welches wohl jeder Leser als gelöschten Kalk kennt. Obgleich durch seine Farbe von den Umwandlungsprodukten des Eisens, Bleies u. s. w. verschieden, entging den damaligen Chemikern doch nicht, daß diese Substanzen in ihrem chemischen Verhalten viele Analogie darbieten, weshalb man die unmittelbar aus den Metallen gewonnenen derartigen Körper als Metallkalke zu bezeichnen pflegte. Man beobachtete längst, daß diese Kalke und einige andere entsprechende Substanzen, deren Ursprung von den Metallen man indeß weder nachzuweisen vermochte noch überhaupt vermuthete, die Fähigkeit besitzen saure Körper abzustumpfen und ihnen ihre hervorragendste Eigenschaft, den sauren Geschmack, zu nehmen. Die älteren Chemiker kannten schon mehrere Körper, welche sich von den anderen durch ihre saure Beschaffenheit unterschieden und von ihnen als Säuren bezeichnet wurden, ein Ausdruck, der auch jetzt noch auf diese Reihe von Verbindungen angewendet wird. Als Säuren kannte man namentlich die im Essig enthaltene Essigsäure, die Salpetersäure (Scheidewasser), die Schwefelsäure (Vitriolöl), die schweflige Säure und manche andere. Kommen diese Säuren mit einem Metallkalk in Berührung, so verschwinden die Eigenschaften beider Stoffe und es entstehen häufig lösliche krystallisirbare Verbindungen, welche man als Salze bezeichnete. Unter diesem Namen wurden überhaupt die Produkte der gegenseitigen Einwirkung von Säuren und Metallkalken zusammengefaßt. Es war der Beobachtung nicht entgangen, daß manche Säuren und Metallkalke bei ihrer Bildung durch Erwärmen unter Feuererscheinung entstehen. Das lebhafte Leuchten und Funkensprühen des weißglühenden Eisens begleitet die Bildung des Hammerschlags, eines Metallkalkes, auch Blei, Zinn und andere Metalle verbrennen und liefern dabei Metallkalke. Dagegen ist es eine allgemein bekannte Erscheinung, daß angezündeter Schwefel mit blaßblauer Flamme, unter Verbreitung eines erstickend sauren Geruches, verbrennt. Er verwandelt sich dabei in einen gasförmigen Stoff, die schweflige Säure, welche vom Wasser reichlich aufgenommen wird und so eine Lösung bildet, die alle Eigenschaften einer Säure besitzt. Das Streben der wissenschaftlichen Chemiker war nun darauf gerichtet, diese und viele andere ähnliche Erscheinungen genügend zu erklären und die Vorstellungen über die Zusammensetzung der verschiedenen Körper auf einfache, naturgemäße Grundsätze zurückzuführen. Daß viele chemische Umwandlungen sich von einer Verbren-

Säuren und Salze.

Digitized by Google

nung oder einem ganz ähnlichen Vorgang ableiten lassen, wurde damals schon als richtig erkannt, und es war daher vor allem wichtig, die Verbrennung selbst zu erklären, welcher sich die Aufmerksamkeit der Chemiker nun besonders lebhaft zuwendete. Das Streben, die bekannten Thatsachen durch eine entsprechende, alle Erscheinungen umfassende Hypothese zu erklären, fand durch Stahl endlich einen bestimmten Ausdruck, indem dieser ausgezeichnete Chemiker eine Theorie aufstellte, welche bei dem damaligen Entwicklungszustande unserer Wissenschaft den erwähnten Anforderungen insofern gerade genügte, obwohl sie an sich völlig unrichtig war. Zu jener Zeit, als Stahl seine Ansichten entwickelte, war die alte Vorstellung über die Natur des Feuers schon längst verlassen. Man hatte das Feuer als eine Erscheinung erkannt, die sich wohl an der Materie äußert, aber mit dieser selbst nicht verwechselt werden darf. Der Umstand, daß die Körper durch Verbrennen zerstört werden, legte die Vermuthung nahe, daß sich dabei die verbrennenden Substanzen in einfachere Stoffe zerlegen, gewissermaßen auflösen. Somit erschien die Verbrennung als eine Art Zersetzung, und es war natürlich anzunehmen, daß alle brennbaren Stoffe bei der Verbrennung eine ganz analoge Zerlegung erleiden, da die Erscheinung selbst mit wenigen unwesentlichen Abänderungen immer dieselbe war, stets sich dabei Licht und Wärme entwickelten. Diesen schon durch Becher angedeuteten Ansichten verlieh Stahl in seiner phlogistischen Theorie einen klaren Ausdruck. Er nahm an, daß in alle brennbaren Stoffen ein gemeinschaftlicher Bestandtheil, das Phlogiston, enthalten sei. Beim Verbrennen entweiche dieses und bedinge dadurch die Feuererscheinung. Letztere müsse um so lebhafter sein, je mehr Phlogiston der brennbare Körper enthalte. Die Verbrennung ist also nach Stahl ein Zerfallen des brennenden Körpers in eine unzerlegliche Substanz und in das Phlogiston. Die Metalle betrachtete man nach dieser Theorie somit als aus Phlogiston und einen Metallkalk zusammengesetzt. Wird das Metall erhitzt, so giebt es unter Feuererscheinung das Phlogiston ab, und der Metallkalk bleibt zurück. Die längst bekannte Thatsache, daß die Metallkalke, mit Kohle erhitzt, wieder in Metalle übergeführt werden, ließ sich leicht durch einen großen Gehalt an Phlogiston in der Kohle erklären, welche einen Theil davon an die Metallkalke abgiebt und diese wieder in die Metalle umwandelt. Die Verbrennung nicht metallischer Körper, wie Schwefel und ähnliche, wurde in derselben Weise erklärt. Nach der Theorie besteht der Schwefel aus schwefliger Säure und Phlogiston. Ueber die Eigenschaften des Letzteren im unverbundenen Zustande konnte man sich jedoch nicht einigen. Während manche im feinen Ruß das reine wahre Phlogiston zu erkennen meinten, da dieser beim Erhitzen schnell und ohne Rückstand verbrennt, glaubten andere dem Phlogiston eine mehr unmaterielle Beschaffenheit zuschreiben und selbes als eine Art Feuermaterie bezeichnen zu müssen.

Das Phlogiston.

Wir haben bis jetzt einer sehr wichtigen Thatsache nicht Erwähnung gethan, welche schon den alten Chemikern bekannt, von den Neuern, namentlich den Anhängern des Phlogistons, nicht geläugnet, von allen aber völlig mißdeutet oder, als unwesentlich, ohne Beachtung geblieben war. Die Verbrennung und Verkalkung findet nur in offenen Gefäßen, d. h. bei Zutritt der Luft, statt. Obwohl man später von der Existenz der atmosphärischen Luft und manchen ihrer hervorragendsten Eigenschaften ziemlich genaue und richtige Kenntnisse besaß, so wendete man dem Einflusse der Atmosphäre bei dem Verbrennungsprozesse nur wenige Aufmerksamkeit zu. Einige Vorgänger

Zur Verbrennung ist Luft nöthig.

Digitized by Google

Stahl's hatten sich bei Erklärung dieser Thatsache ihrer wichtigen Deutung mehr genähert als letzterer, welcher der Luft ganz einfach die Rolle zuwies, das entweichende Phlogiston aufzunehmen, womit allerdings viele Erscheinungen im besten Einklange zu stehen schienen. Man wußte z. B. längst, daß, wenn Metalle unter einer Decke von flüssiger Schlacke, Glas u. dergl. geschmolzen werden, trotz der großen Hitze keine Verkalkung derselben eintritt. Stahl's Annahme erklärte dieß einfach, denn die schmelzende Schlacke hinderte das Phlogiston, in die Luft zu entweichen. Dieses mußte deshalb mit dem Metallkalke verbunden bleiben, und letzterer konnte somit nicht zum Vorschein kommen. Wo also Luft fehlte, mangelte dem Phlogiston das Mittel sich zu verflüchtigen, und deshalb konnte auch keine Verbrennung stattfinden.

Obwohl die eben kurz erörterte Theorie von manchen Chemikern bekämpft und als unrichtig bezeichnet wurde, waltete sie doch ihrer Einfachheit und Klarheit wegen lange Zeit vor, und die hervorragendsten Fachgenossen huldigten ihr, während sie zugleich durch Erforschung neuer Thatsachen dieselbe zu stützen und zu erweitern suchten. Um die Mitte des 18ten Jahrhunderts wendete sich die Aufmerksamkeit einem sehr wichtigen Theile unserer Wissenschaft zu, der Erforschung der gasförmigen Körper, welche bis dahin ganz vernachlässigt war.

Die Gase.

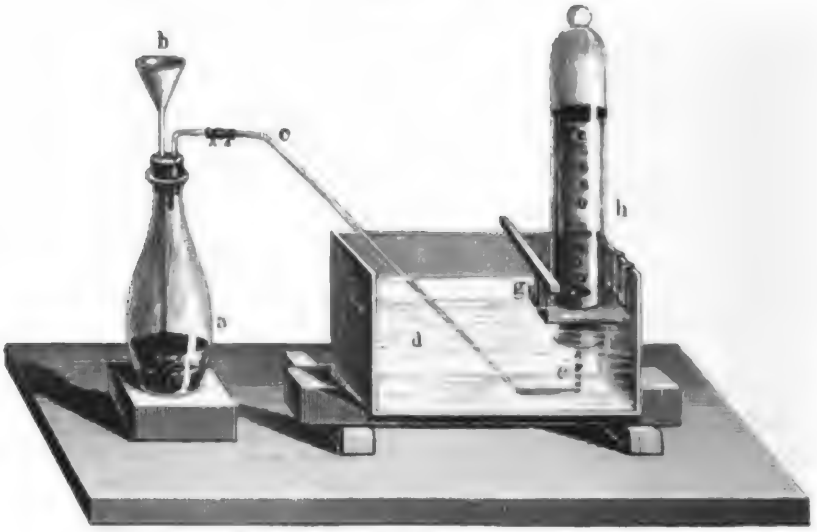
Schon in der frühern Periode entging es den Chemikern nicht, daß sich bei Einwirkung gewisser Stoffe auf einander gasförmige Körper zeigen. Man berücksichtigte diese aber wenig und fand in dem erwähnten Verhalten nur einen interessanten Beweis, daß in den festen Stoffen Luft gebunden ist, welche unter Umständen wieder entweichen könne. Man hatte beobachtet, daß mit Wasser verdünntes Vitriolöl bei Berührung mit Eisen die Entwicklung eines Gases veranlaßt, welches brennbar ist und sonst noch in mancher Hinsicht sich von der Luft unterscheidet. Durch Uebergießen von Kreide mit Essig oder anderen Säuren erhielt man unter lebhaftem Aufbrausen eine Luftart, welche durch ihren säuerlichen Geruch, das größere specifische Gewicht und die Unfähigkeit, die Verbrennung zu unterhalten, sich von der atmosphärischen Luft wesentlich unterschied und als identisch mit jener erkannt wurde, die an verschiedenen Punkten auch aus der Erde strömt, in den Sauerbrunnen sich reichlich vorfindet, auch bei der Weingährung auftritt u. s. w. Daß sich in den Steinkohlengruben unathembare oder explodirbare Luftarten vorfinden, war ebenfalls bekannt, doch betrachtete man alle diese Gase als wesentlich aus gewöhnlicher Luft bestehend, in welcher nur gewisse nicht näher bestimmte Verunreinigungen die beobachteten Veränderungen der Beschaffenheit veranlassen.

Der pneumatische Apparat.

Die Ursache der damaligen Unkenntniß über die Natur der gasförmigen Stoffe ist vorzüglich in der Schwierigkeit zu suchen, welche sich einer genaueren Prüfung der Gase entgegenstellte, so lange man nicht Apparate zur Verfügung hatte, welche es gestatten, die Gase zu sammeln und ihr Verhalten zu beobachten. Erst nachdem Priestley, dem wir überhaupt sehr viele wichtige Entdeckungen verdanken, den pneumatischen Apparat erfand, wurde es leicht, Gase zu untersuchen, und von da an erweiterten sich auch die dießfälligen Kenntnisse der Chemiker ungemein schnell. Bald mußten die auf diesem Wege gefundenen neuen Thatsachen zur richtigen Erkenntniß des wahren Vorganges bei den chemischen Umwandlungen führen. Der von Priestley erfundene pneumatische Apparat, welcher jetzt noch immer zur Anwendung kommt, wo es sich um das Sammeln und Prüfen eines gasförmigen Körpers handelt, ist in Fig. 249 wiedergegeben. Die pneumatische Wanne d, gewöhnlich viereckig oder oval aus Glas, Porzellan oder Metallblech angefertigt, enthält

Digitized by Google

(Fig. 249.)



eine bewegliche Brücke g, welche in der Mitte durchbohrt und mit einem trichterförmigen Anſatz f verſehen iſt, über welchem ſich ein mit Waſſer gefüllter Cylinder h befindet, in welchem ſich das Gas anſammeln ſoll, welches durch das Gasleitungsrohr c aus der Mündung e unter Waſſer aufſteigt. Das Gasleitungsrohr iſt nun mit jenem Apparate in Verbindung geſetzt, in welchem die Entwicklung des luftförmigen Körpers vor ſich geht und der nach Umſtänden verſchieden eingerichtet iſt. In unſerem Falle findet ſich eine Gasentwicklungsflaſche a in Anwendung, die mit einem doppelt durchbohrten Korke verſehen iſt. In die eine Bohrung iſt das Gasleitungsrohr eingepaßt, die andere nimmt einen Sicherheitstrichter b auf, der bis nahe an den Boden der Flaſche reicht und dazu dient, um die zur Gasentwicklung etwa nöthigen Flüſſigkeiten allmälig einzutragen, ohne die Flaſche öffnen zu müſſen. Findet zufällig eine ſehr raſche Gasentwicklung ſtatt, ſo gewährt der erwähnte Trichter noch den großen Vortheil, daß die Flüſſigkeit in demſelben aufſteigt und, ſobald die ſtürmiſche Gasentwicklung wieder aufhört, wieder auf die dem Drucke der Flüſſigkeitsſäule in c entſprechende Höhe zurückſinkt, wodurch der Apparat in normalem ununterbrochenen Gange erhalten werden kann.

(Fig. 250.)

Das Gaſometer.

Bei dieſem Anlaſſe mag auch die Beſchreibung des Gaſometers Fig. 250 Platz finden, welches dazu dient, um Gaſe nicht nur aufzubewahren, ſondern nach Be-

darf wieder weiter zu leiten oder in andere Gefäße überzufüllen. Das eigentliche Gasometer a dient zur Aufnahme der Gase. Soll es mit einem solchen gefüllt werden, so werden die Hähne e, d, c geschlossen, nachdem das Gasometer zuvor mit Wasser gefüllt wurde. Dann öffnet man den Tubulus b, führt dort das Gasleitungsrohr ein und in dem Maße, als dieses Gas in dem Gefäße aufströmt, fließt das Wasser bei b ab. Ist so das Gasometer mit dem Gase beschickt, bringt man in das obere Gefäß f Wasser und kann nun durch Oeffnen des Hahns c mittelst der Röhre i das Gas einem bestimmten Drucke aussetzen, welcher das Ausströmen desselben beliebig aus dem horizontalen Rohr oder nach aufwärts in das Gefäß f, falls man dort etwa eine Glocke damit füllen will, bedingt, je nachdem man den Hahn e oder den Hahn d öffnet. Gewöhnlich wird in beiden Vorrichtungen Wasser als Sperrflüssigkeit verwendet, doch benutzt man, wo die Natur es erheischt, auch Oel, Salzlösungen, in pneumatischen Wannen sehr häufig Quecksilber, besonders wo es sich um Auffammlung und Prüfung ganz trockner Gase handelt.

Wenn wir nun zur atmosphärischen Luft zurückkehren, so bringen wir zunächst in Erinnerung, wie die Bedeutung derselben für die Verbrennung und Verkalkung von der phlogistischen Theorie dahin aufgefaßt wurde, daß die Luft das Phlogiston, welches aus den brennenden Körpern entweicht, aufnehme. Man beobachtete oft, wie die Luft nicht immer die Verbrennung begünstige, ja daß sie eine Beschaffenheit annehmen könne, welche den sonst gut brennbaren Stoffen diese Eigenschaft ganz raubt. Brachte man z. B. unter eine Glocke, die mit Luft gefüllt und mit Wasser abgesperrt war, eine brennende Kerze, so wurde die Flamme derselben allmälig trübe und nach einiger Zeit erlosch sie vollständig. Wurden 2 Kerzen gleichzeitig in denselben Raum gebracht, so war die Erscheinung die gleiche, nur trat sie in der halben Zeit wie früher, wo nur eine Kerze zum Versuche diente, ein. Man erklärte dieß einfach dadurch, daß die Luft sich endlich mit Phlogiston ganz gesättigt hatte, somit nichts weiter davon aufzunehmen vermochte, weßhalb das Brennen darin unmöglich wurde. Wenn nun die beiden Kerzen, wie natürlich, doppelt so viel Phlogiston abgaben, als Eine, so mußte das Erlöschen schon in der halben Zeitfrist erfolgen. Eine andere Beobachtung über das Verhalten der Luft, welche öfters gemacht wurde, ohne vorläufig eine genügende Erklärung zu finden, bezieht sich auf das Verkalken der Metalle. Man fand, daß die Luft dabei ihr Volum vermindere. Schon Boyle bemerkte, wie Zinn oder Blei in verschlossenen Gefäßen erhitzt, sich nur theilweise verkalkten und daß die Menge des Metallkalkes um so größer war, je mehr Luft das Gefäß faßte. Nach dem Oeffnen desselben wurde immer ein lebhaftes Einströmen von Luft bemerkt, woraus sich mit Recht schließen ließ, daß ein Theil der Luft weggenommen, in den starren Zustand übergeführt worden war. Diese wichtige Erscheinung ließ man jedoch unbeachtet oder erklärte sie mit der Annahme, der Metallkalk habe erst nach seiner Entstehung Luft aufgenommen. Daß diese unmittelbar zur Bildung des Metallkalkes dienen dürfte, fiel niemandem bei.

Die Luft vermindert bei der Verkalkung ihr Volum.

Lavoisier's Verdienst.

Eine noch wichtigere Erscheinung, welche schon vielfältig beobachtet, bis dahin aber nie einer nähern Prüfung oder Erklärung gewürdigt wurde, soll uns zunächst beschäftigen, weil aus ihrer richtigen Deutung endlich nach Jahrhunderte langem Ringen die Feststellung des wahren Grundes der chemischen

Die Metalle werden bei der Verkalkung schwerer.

Digitized by Google

Umwandlung hervorging. Obwohl nämlich die Aufmerksamkeit der ältern Chemiker diesen Verhältnissen nie speciell zugewendet war, konnte es doch nicht unbemerkt bleiben, daß der beim Erhitzen des Metalles an der Luft gebildete Metallkalk ein größeres Gewicht habe, als das ursprünglich angewendete Metall. Man hielt diese Erscheinung für ganz unwesentlich und glaubte sie mit der Annahme hinreichend erklärt, daß von dem Kalke wägbare Feuermaterie aufgenommen worden sei. Diese und ähnliche Deutungen genügten den damaligen Chemikern vollkommen und die Gewichtszunahme bei der Verbrennung erschien allen als eine Thatsache von sehr untergeordnetem Belang.

Entdeckung des Sauerstoffs.

Im Jahre 1774 beobachtete Priestley, daß man durch starkes Erhitzen von aus Quecksilber mittelst langem Erwärmen dargestelltem Quecksilberkalk ein farbloses Gas erhält, während wieder metallisches Quecksilber zum Vorschein kommt. Das Gas, welches so gewonnen worden, war farb- und geruchlos und alle Verbrennungen zeigten darin eine weit größere Lebhaftigkeit, einen viel helleren Glanz, als in der gewöhnlichen Luft. Priestley schloß aus diesem Umstande, daß das fragliche Gas keine Spur Phlogiston enthalte, daher beim Verbrennen diesen hypothetischen Körper mit großer Begierde unter lebhafter Feuererscheinung aufnehme und nannte es deßhalb: dephlogistisirte Luft. Fast gleichzeitig entdeckte der berühmte schwedische Chemiker Scheele denselben Körper und lehrte ihn durch Erhitzen von Braunstein darstellen. Lavoisier, von Priestley auf dieses Gas aufmerksam gemacht, beschäftigte sich damit besonders eifrig, und seinem Genie gelang es, die bis dahin bekannt gewordenen Thatsachen endlich in einer einfachen und zugleich richtigen Theorie zusammenzufassen, welche, damals die antiphlogistische Theorie genannt, auch jetzt noch bis auf geringe durch die immense Erweiterung der Wissenschaft bedingte Modificationen als völlig richtig anerkannt wird.

Fassen wir die im Vorhergehenden hervorgehobenen hieher gehörigen Thatsachen nochmals kurz zusammen und wir werden sehen, daß diese zu einer Verwerfung des bisher anerkannten Phlogiston drängten, welches endlich nach hartnäckigem Widerstand seiner Vertheidiger, unter welchen sich namentlich Priestley durch seine Beharrlichkeit auszeichnete, den klaren beweisenden Thatsachen, welche Lavoisier auffand und erläuterte, weichen mußte.

Die gewöhnliche Verbrennung findet nur an der Luft statt.

Metalle, welche durch Erhitzen an der Luft verkalkt werden, nehmen dabei an Gewicht zu und das Volum der Luft vermindert sich.

Der Antheil der Luft, welcher zurückbleibt, ist zur weitern Unterhaltung des Verbrennungsprocesses nicht geeignet.

In der Luft befindet sich demnach eine Gasart, welche für sich im unvermengten Zustande die Verbrennungserscheinungen in hohem Grade hervorruft und viel glänzender zeigt, als die gewöhnliche Luft. Es ist dies Priestley's dephlogistisirte Luft.

Auf diese wohlbeobachteten Daten hin stellte Lavoisier nun Versuche an, welche ihm über die Rolle, die der Luft bei der Verbrennung und Verkalkung zukommt, Aufschluß geben sollten, was auch eintrat, da seine Experimente den Charakter wahrhaft wissenschaftlicher Versuche an sich trugen.

Es sei uns gestattet, hier letzteren Ausdruck einer näheren Erörterung zu unterziehen. Jede Naturwissenschaft hat die Aufgabe, eine Reihe von Erscheinungen auf wenige Ursachen zurückzuführen, aus den deutlich erkannten Eigenschaften der Materie, welche dann häufig auch Kräfte genannt werden, zu erklären und die nie fehlende Regelmäßigkeit und Unveränderlichkeit der

Digitized by Google

Wirkung der Kräfte durch einen allgemeinen Satz verständlich wieder zu geben. Ein solcher Ausdruck wird dann gewöhnlich ein Naturgesetz genannt. Schon 150 Jahre vor Lavoisier prüfte Boyle das Verhalten des Zinnes und Bleies bei ihrer Verkalkung in der Weise, daß er eine gewogene Menge dieser Metalle in einem lufthaltenden Gefäße von Glas einschmolz und dann über der Weingeistlampe lange erhitzte. Es trat bald Verkalkung ein und nachdem sich eine gewisse Quantität des Metallkalkes gebildet hatte, hörte diese Umwandlung auf. Beim nachherigen Oeffnen des Gefäßes strömte lebhaft Luft ein, zum Beweise, daß sie im Innern eine Raumverminderung erlitten, und das Gemenge von Metallkalk und Metall wog schwerer, als das reine Metall vor dem Versuche. So wichtig diese Erscheinung und manche andere ähnliche auch waren, so wenig hinderten sie die später erfolgte Aufstellung der phlogistischen Theorie, welche annahm, daß bei der Verkalkung der Metalle etwas fortgehe, wobei doch eine Verminderung des Gewichtes eintreten müßte, während im Gegentheile eine Vermehrung desselben stattfand. Lavoisier stellte nun einen ganz ähnlichen Versuch an, nur beobachtete er die Vorgänge dabei genauer. Auch er verschloß Zinn in ein Glasgefäß, wog aber die ganze Vorrichtung vor dem Erhitzen sorgfältig und nachdem die Bildung des Metallkalkes erfolgt war, wieder. Es zeigte sich nun, daß das Gewicht bei diesem Vorgange keinerlei Veränderung erlitten hatte; es konnte also von außen nichts zu dem Metalle getreten sein. Nachdem dann das Gefäß geöffnet worden, strömte die Luft gewaltsam hinein, und nun stellte sich eine Gewichtsvermehrung ein, die fast genau gleich war jener, welche das zum Theil verkalkte Metall während des Versuchs erfahren, wie sich leicht nachweisen ließ, indem das Zinn und der Zinnkalk herausgenommen und gemeinschaftlich gewogen wurden. Daraus konnte Lavoisier nun den Schluß ziehen, daß das Zinn bei seiner Verkalkung keineswegs etwas abgegeben, sondern im Gegentheile einen wägbaren Körper aus der Luft aufgenommen, sich mit diesem chemisch verbunden habe, und da die rückständige Luft bei ihrer Untersuchung sich als jenen Bestandtheil erwies, der die Verbrennung und Verkalkung nicht zu unterhalten vermag, so war damit bewiesen, daß sich das Metall mit der dephlogistisirten Luft verbunden. Indem Lavoisier die Körper in solcher Weise in Verhältnisse brachte, welchen sie unter völlig natürlichen Umständen nicht zugeführt worden wären, und zugleich durch umsichtig angewendete Behelfe sich die Möglichkeit verschaffte, das, was dabei vorging, zu erkennen, mit Zuverlässigkeit zu beobachten, stellte er einen Versuch, ein wissenschaftliches Experiment, an und aus diesen Andeutungen wird ersichtlich, wie jeder gute Versuch, der mit klarem Bewußtsein dessen, was man daraus entnehmen will, mit völliger Kenntniß aller Verhältnisse, die den Erfolg beeinflussen können, endlich mit der gleichzeitigen Anwendung jener Mittel, welche die genaue Beobachtung der im Verlaufe des Versuches eintretenden Erscheinungen gestatten, angestellt wird, eine deutliche Frage ist, welche wir an die Natur richten und welche diese mit Bestimmtheit beantworten muß.

Die Metalle werden als einfache Körper erkannt.

Lavoisier erklärte nun im Gegensatze zu den frühern Chemikern, daß die Metalle keineswegs zusammengesetzte Körper seien, am allerwenigsten aber das Phlogiston, welches gar nicht existire, enthalten, daß sie vielmehr als einfache Stoffe, als chemische Elemente bezeichnet werden müssen, die sich bei ihrer Verbrennung, der Verkalkung, mit dem erwähnten Luftbestandtheile verbinden und dabei natürlich ihr Gewicht vermehren. Das die Verbrennung unterhaltende Gas nannte Lavoisier Sauerstoff, Oxygen, da

Digitized by Google

er es auch als einen wesentlichen Bestandtheil vieler damals bekannten Säuren nachwies. Diesen Akt der Verbindung des Sauerstoffs mit andern Elementen bezeichnet Lavoisier mit dem Ausdrucke Oxydation und die Produkte der Verbindung als Oxyde, welche Namen heutzutage noch unverändert im Gebrauche sind. Wir haben schon erwähnt, daß viele Metallkalke, wenn man sie mit Kohle glüht, wieder in Metalle zurück verwandelt werden und wissen die Erklärung der Phlogistiker für diese Erscheinung, welche sagten, die Kohle sei sehr reich an Phlogiston und übertrage dieses wieder auf den Metallkalk. Mit der Kenntniß des Sauerstoffs war auch diese Rückbildung des Metalls, die Reduction durch Kohle, erklärt. Man fand bald, daß die Kohle hiebei keineswegs etwas an den Metallkalk abtrete, sondern diesem im Gegentheile einen Körper und zwar den Sauerstoff entzieht, um sich damit zu der mehrmals erwähnten Kohlensäure zu vereinigen, welche sich auch als das Produkt der direkten Vereinigung der Kohle mit Sauerstoff nachweisen ließ. Die Reduction der Metalloxyde, wie wir von nun an die Metallkalke der Alten zu nennen berechtigt sind, mittelst Kohle ist also nichts weiter, als eine Verbrennung der letzteren auf Kosten des in den Metalloxyden vorhandenen Sauerstoffs, welche, da dieses Element eine andere Verbindung eingeht, wieder das ursprüngliche Metall liefern müssen. Es war nun nicht schwierig, alle bisher genauer beobachteten Erscheinungen zu erklären als die Folgen der Verbindung oder Trennung zweier oder mehrerer Körper, und die Vorstellung von einer eigentlichen Umwandlung der Stoffe, welche ohnehin durch die obwohl an sich unrichtige Theorie Stahl's schon bedeutend zurückgedrängt war, verschwand von nun an für immer.

Oxyde und Oxydation.

Reduction.

Rückblick. Werfen wir nun einen Blick auf den Zustand der chemischen Kenntnisse bei den Alten, wie er zu Anfang dieser Darstellung geschildert wurde, so läßt sich die Bemerkung nicht unterdrücken, daß unsere Wissenschaft, obwohl sich seit vielen Jahrhunderten zahlreiche ausgezeichnete Männer damit beschäftigten, einen sehr langsamen Entwicklungsgang genommen. Der Grund davon ist in dem jedenfalls sehr merkwürdigen Umstande zu suchen, daß man bei allen chemischen Untersuchungen einer Haupteigenschaft der Materie, der Schwere, keine Rechnung trug; selbst dann noch, wo die Veränderung des Gewichtes bei der chemischen Umwandlung einer Substanz eine allgemein bekannte Thatsache geworden. Lavoisier's Genie befreite endlich unsere Wissenschaft von den Fesseln einer unrichtigen Vorstellung über den Grund der chemischen Umwandlungen, und in weniger als 80 Jahren schwang sich hierauf die Chemie zu ihrer jetzigen Höhe und Ausdehnung empor.

Digitized by Google

II.

Die allgemeine Chemie.

Von Lavoisier ist auch die Vorstellung über die Natur eines chemischen Elementes ganz richtig aufgefaßt worden und hat seither keinerlei Veränderungen mehr erfahren. Wir verstehen jetzt noch darunter einen wägbaren Körper, welcher sich durch alle uns zu Gebote stehenden Mittel nicht in andere ungleichartige Stoffe zerlegen läßt, dagegen die Fähigkeit besitzt, mit anderen Elementen sich zu völlig gleichartigen Substanzen zu vereinigen, die den Namen chemische Verbindungen führen und sich von den Elementen schon dadurch wesentlich unterscheiden, daß man eben diese wieder daraus mit ihren ursprünglichen Eigenschaften abtrennen kann. Die chemischen Elemente.

Es ist natürlich, daß Lavoisier und seine nächsten Nachfolger keineswegs alle Elemente kannten. Wir dürfen jetzt noch nicht mit Sicherheit behaupten, daß mit den bisher aufgefundenen 61 Elementen die Reihe der auf der Erde vorhandenen abgeschlossen sei. Gewiß ist uns aber kein Element entgangen, welches bei den natürlichen chemischen Veränderungen, welche unausgesetzt die Beschaffenheit der Erdoberfläche abändern und diese, sowie die darauf lebenden Organismen, neu gestalten, eine nur einigermaßen wichtige Rolle spielt.

Man pflegt die Elemente in zwei große Gruppen einzutheilen, wovon die eine die Metalle, die andere die nicht metallischen Elemente oder Metalloide umfaßt. Auf eine eigentliche Classification derselben im gewöhnlichen Sinne müssen wir Verzicht leisten und sind genöthigt, eben jedes Element an sich und in seinen Beziehungen zu den anderen zu betrachten, wobei wir von gewissen Analogien geleitet werden, welche uns gestatten, mehrere Elemente zu kleineren, bestimmter umgränzten Gruppen zusammenzustellen. Derlei Analogien leiten den Chemiker auch bei seinen Bemühungen, die Verbindungen der Elemente übersichtlicher aneinander zu reihen, wie wir später deutlicher einsehen lernen werden. Es mögen hier vorläufig die Namen der bekannten Elemente folgen, wobei die verbreiteteren, somit wichtigeren, durch größere Schrift ausgezeichnet sind: **Aluminium**, **Antimon**, **Arsen**, **Barium**, Beryllium, **Blei**, **Bor**, Brom, Cadmium, **Calcium**, Cer, **Chlor**, Chrom, Didym, **Eisen**, Erbium, Fluor, **Gold**, **Jod**, Iridium, **Kalium**, **Kobalt**, **Kohlenstoff**, **Kupfer**, Lanthan, Lithium, **Magnesium**, **Mangan**, Molybdän, **Natrium**, **Nickel**, Niobium, Norium, Osmium, Palladium, **Phosphor**, **Platin**, **Quecksilber**, Rhodium, Ruthenium, **Sauerstoff**, **Schwefel**, Selen, **Silber**, **Silicium**, **Stickstoff**, Strontium, Tantal, Tellur, Terbium, Thorium, Titan, Uranium, Vanadin, **Wasserstoff**, Wismuth, **Wolfram**, Yttrium, **Zink**, **Zinn**, Zirkon. Metalle und Metalloide.

Digitized by Google

Chemische Verwandtschaft.

Es ist an der Zeit zu erörtern, welchen Begriff man früher von der Ursache der chemischen Vereinigung hatte und wie man selbe bezeichnete. Es wurde vielseitig ausgesprochen, daß die Verbindung zweier Körper nur dann stattfinden könne, wenn sie etwas Gemeinsames, Verwandtes enthalten, und so entstand der Ausdruck Verwandtschaft, Affinität für chemische Anziehung, welchen wir noch heutzutage allgemein anwenden. Wenn sich also z. B. Zinn und Sauerstoff in der Wärme zu Zinnoxyd vereinigen, so geschieht dieß, weil diese beiden Elemente Verwandtschaft zu einander haben, denn unter Verwandtschaft verstehen wir die Fähigkeit der Körper, sich mit anderen chemisch zu vereinigen. Die Erfahrung lehrt nun, daß diese chemische Anziehung nicht bei allen Stoffen, gegenüber den übrigen, sich mit gleicher Intensität geltend macht, daß im Gegentheile hier große Verschiedenheiten obwalten. Dieß läßt sich namentlich dann leicht beobachten, wenn eine bereits gebildete chemische Verbindung mit einem Körper zusammentrifft, der zu einem Bestandtheile derselben größere Verwandtschaft hat, als der andere damit schon verbundene. In diesem Falle bemächtigt sich der hinzugebrachte Stoff des erwähnten Bestandtheiles und bildet damit eine neue Verbindung, während der verdrängte Körper sich mit seinen ursprünglichen Eigenschaften abscheidet. So haben Schwefel und Quecksilber zu einander eine große Verwandtschaft, welche sich sogleich äußert, wenn man diese beiden Elemente mit einander erwärmt. Unter lebhaftem Geräusche findet dann ihre Vereinigung statt, und wir erhalten zunächst einen schwarzen Körper, der sich verflüchtigen läßt und nach der Sublimation eine rothe krystallinische Masse liefert, die in ihrer Beschaffenheit mit dem natürlichen Zinnober völlig übereinstimmt. Der Zinnober besteht demnach aus Schwefel und Quecksilber. Erhitzen wir ihn aber in einer Retorte mit Eisen, so macht sich die größere Verwandtschaft dieses Metalles zu Schwefel geltend, letzterer und Eisen vereinigen sich zu einem neuen Körper, dem Schwefeleisen. Das freigewordene Quecksilber kann in der Vorlage leicht condensirt und dieser Vorgang hundertmal damit wiederholt werden, ohne daß es irgend eine seiner Eigenschaften dadurch einbüßte. Derlei Prozesse sind sehr viele bekannt und werden als einfache Wahlverwandtschaft bezeichnet, deren Einzelnheiten wir sehr leicht allgemein so ausdrücken können, daß eine Verbindung A + B, mit einem dritten Körper C zusammengebracht, an diesen A abgiebt, wonach die Verbindung A + C entsteht, während B frei wird.

In vielen Fällen findet eine Zersetzung der Verbindungen in der Weise statt, daß zwei derselben ihre Bestandtheile austauschen, welchen Vorgang man doppelte Wahlverwandtschaft zu nennen pflegt. So bilden, um als Beispiel von den zahlreich bekannten Fällen nur einen anzuführen, Sauerstoff und Blei mit einander Bleioxyd, und Chlor mit Wasserstoff den sogenannten Chlorwasserstoff. Kommen diese beiden Körper in wechselseitige Berührung, so vereinigen sich Chlor mit Blei, und andererseits Wasserstoff mit Sauerstoff, oder allgemein ausgedrückt: die Verbindungen A + B und C + D liefern durch Doppeltzersetzung zwei neue A + C und B + D.

Wenn wir in obigen schematischen Darstellungen auch eine große Anzahl der bekannten chemischen Zersetzungserscheinungen versinnlicht haben, so dürfen wir uns durchaus nicht der Meinung hingeben, daß damit alle möglichen Verbindungsweisen der Körper erschöpft sind. Es giebt im Gegentheile eine bedeutende Menge chemischer Umwandlungsprocesse, welche sich auf eine der erwähnten zwei Kategorien nicht zurückführen lassen, doch gehören namentlich die

Digitized by Google

Erscheinungen der einfachen und doppelten Wahlverwandtschaft zu den gewöhnlichsten Vorgängen.

Bedingungen, unter welchen die Affinität zur Geltung kommt.

Aus diesen Mittheilungen ist es leicht zu entnehmen, wie die chemische Verwandtschaft sich keinesfalls immer und unter allen Verhältnissen in gleicher Weise kund giebt, daß wir vielmehr verschiedene Grade ihrer Intensität gelten lassen müssen und in vielen Fällen die Affinität überhaupt gar nicht zur Wirksamkeit gelangen kann. Die Erfahrung hat uns über diesen Gegenstand zahlreiche Aufschlüsse geboten, die uns im Allgemeinen beweisen, daß die Affinität immer nur sich unter gewissen Verhältnissen geltend macht und ihre Intensität von mancherlei Umständen abhängig ist, die wir bis jetzt keineswegs alle kennen und demnach einer schärferen Beobachtung zu unterwerfen im Stande sind. Unter den Bedingungen, welche ohne Ausnahme erfüllt sein müssen, wenn die Verwandtschaft sich überhaupt äußern soll, ist die unmittelbare Berührung der Körper voranzustellen, denn die chemische Anziehung wirkt nur in unmeßbar kleinen Entfernungen. Auch dann aber tritt keine Verbindung ein, wenn nicht wenigstens einer der Körper tropfbar oder elastisch flüssig ist. Starre Substanzen, mögen sie sonst noch so viel Verwandtschaft zu einander zeigen, verbinden sich durchaus nicht, selbst wenn sie sehr sorgfältig und innig zusammengemischt werden. In sehr vielen Fällen genügt es übrigens nicht, diese beiden Bedingungen erfüllt zu haben, sondern es müssen noch andere Verhältnisse herrschen, um die Affinität rege zu machen. Hier tritt uns zunächst die Wärme, als eines der wichtigsten Agentien, entgegen, welche auf die Intensität und Richtung der Verwandtschaft Einfluß nehmen. Es muß immer eine gewisse Temperatur gegeben sein, wenn eine Verbindung vor sich gehen soll, und wir sind wohl berechtigt anzunehmen, daß bei großer Kälte überhaupt gar kein chemischer Vorgang möglich ist. So vereinigen sich Chlor und Phosphor in gewöhnlicher Temperatur ungemein heftig, bei $70 - 80^0$ unter Null wirken sie nicht mehr auf einander. Jedermann weiß, daß sich der Schwefel in gewöhnlicher Temperatur an der Luft unverändert erhält, sowie, daß man ihn durch Berührung mit einem brennenden Körper, also durch Hitze zum Verbrennen, d. h. zur Verbindung mit Sauerstoff disponiren kann. Ebenso die Kohle u. s. w., daraus geht aber hervor, wie die zur Erregung der Affinität nöthige Wärme bei verschiedenen Körpern sehr verschieden ist, und es mag noch hinzugefügt werden, daß man bis jetzt nicht im Stande war, zwischen diesen Verhältnissen und den übrigen Eigenschaften der Materie einen deutlichen Zusammenhang ausfindig zu machen. Doch gilt hier, wie bei allen noch zu erörternden Einflüssen auf die Aeußerungen der Affinität der Satz: daß unter gleichen Umständen die Wirkung der Verwandtschaft immer absolut dieselbe sei.

Wie die Wärme Affinität zu erregen vermag, ist sie, obwohl in seltenen Fällen, auch im Stande, dieselbe aufzuheben und dadurch die Zersetzung einer Verbindung zu veranlassen oder die Bildung derselben zu verhindern. So ist z. B. das Quecksilber in gewöhnlicher Temperatur unveränderlich, es verbindet sich nicht mit dem Sauerstoffe der Luft. Bei $+ 350^0$ aber nimmt es diesen allmählig auf und verwandelt sich in rothes Quecksilberoxyd; wird aber dieses weiter über $+ 360^0$ erwärmt, so zerfällt es wieder in Sauerstoff und Quecksilber; ein Vorgang, von welchem wir erzählten, daß er zur Entdeckung des Sauerstoffs durch Priestley Veranlassung gab. Wir werden bald sehen, wie die Wärme überhaupt bei allen chemischen Vorgängen eine sehr wichtige Rolle spielt.

Digitized by Google

Gleich der Wärme, nur nicht so allgemein, läßt sich auch das Licht als ein Erreger der Affinität bezeichnen. Manche Körper vereinigen sich chemisch nur im Lichte mit einander. Man hat beobachtet, daß diese Wirkung des Lichtes nach Umständen besonders einzelnen farbigen Strahlen zukömmt und es sind namentlich die grünen, blauen und violetten Strahlen, denen eine vorzügliche chemische Wirksamkeit zugestanden werden muß. Eben so wie die Wärme vermag übrigens auch das Licht Verbindungen zu zerlegen, obwohl dies minder häufig geschieht, als bei Einwirkung der Wärme. Namhaft empfindlich gegen Licht erweisen sich die Verbindungen gewisser edler Metalle, besonders des Silbers, welches deshalb auch zur Hervorbringung von Photographien allgemein benutzt wird. Die Herstellung derselben beruht auf einer, durch das Licht bewirkten, Zerlegung von Silberverbindungen, mit welchen das Papier getränkt ist, und die dabei fein vertheiltes Silber abscheiden, wodurch die dunkle Färbung der betreffenden Stellen entsteht.

Ursache der Anziehung.

Fragen wir nun nach der nächsten Ursache der chemischen Anziehung, warum überhaupt die verschiedenen Körper die Fähigkeit besitzen, sich so innig mit einander zu vereinigen, daß ihre gesammten Eigenschaften verändert werden, so müssen wir offen gestehen, daß sich darüber keine genügende Erklärung geben läßt. Wir sind wohl im Stande, die Erfolge der Affinität zu beobachten, die Gesetze, nach welchen die chemischen Verbindungen entstehen, zu erforschen, allein den nächsten Grund dafür aufzufinden, war man bisher nicht im Stande, und die bald näher zu erörternde electrochemische Theorie, welche die chemische Anziehung auf bekannte electrische Erscheinungen zurückzuführen sich zur Aufgabe machte, ist weit davon entfernt, die Affinität in ihren verschiedenen Aeußerungen ungezwungen zu erklären. Wenn wir nun über die Quelle der Verwandtschaft schon völlig im Unklaren sind, um wie viel weniger Hoffnung ist für die nächste Zukunft vorhanden, über die Ursache der so mannigfaltigen Abänderungen, welche die Affinität durch Licht, Wärme und andere Agentien, sowohl nach ihrer Intensität wie nach der Richtung ihrer Aeußerung, erleidet, sich eine deutliche Vorstellung verschaffen zu können.

Die Elemente im Zustande chemischer Erregung.

Dieß gilt in noch höherem Grade von gewissen sehr interessanten Erscheinungen, die wir bei Elementen und Verbindungen oft in Bezug auf Steigerung ihrer Affinität wahrnehmen und als chemische Erregung zu bezeichnen pflegen, freilich ohne mit diesem Worte irgend eine Erklärung der Sache gegeben zu haben. Wir wollen dem Leser im Folgenden einige der wichtigeren, hierher gehörigen Thatsachen vorführen.

Der Sauerstoff, wie wir ihn in der Luft antreffen, oder in verschiedener Weise aus gewissen Verbindungen rein darstellen können, ist zwar im Stande, selbst unter den gewöhnlichen Verhältnissen, sich mit vielen Körpern zu vereinigen, doch bedarf es dazu sehr häufig einer höheren Temperatur oder des Lichtes. Wir kennen jedoch den Sauerstoff frei und unverbunden auch in einem Zustande, wo er weit mächtigere Wirkungen als der gewöhnliche äußert, und viele Verbindungen unter Umständen eingeht, wo er sich sonst ganz indifferent verhält. Solcher Sauerstoff scheidet z. B. augenblicklich aus dem Jodkalium das erstere Element aus und bildet Kaliumoxyd, während man das Jodkalium im gewöhnlichen Sauerstoff Jahrelang aufbewahren kann, ohne daß eine Zersetzung erfolgte. Diese und ähnliche Erscheinungen beweisen uns unwiderleglich, daß in dem bezeichneten Zustande der Sauerstoff mit einer weit mächtigeren Affinität begabt sein müsse, als gewöhnlich. Auch in der Luft wird häufig ein kleiner Theil ihres Sauer-

Digitized by Google

stoffgehaltes in diesem Zustande chemischer Erregung angetroffen. Er erhielt den Namen Ozon, da man früher meinte, es sei ein selbstständiger, eigenthümlicher Körper. Ozon läßt sich leicht herstellen, wenn Luft in einem größeren, lose verschlossenen Gefäße mit Phosphor zusammengebracht wird, der mit Wasser nahezu bedeckt ist. Ohne daß der Sauerstoff etwas aufnimmt, erhält er die beschriebene Beschaffenheit.

Die Erfahrung lehrt uns ferner, wie der Sauerstoff in sehr vielen Fällen weit leichter sich mit einem Körper verbindet, wenn er selbst bereits chemisch gebunden ist, als im isolirten Zustande, weshalb wir so häufig mit Vortheil Sauerstoffverbindungen benutzen, um andere Körper zu oxydiren. Dazu dient z. B. die Salpetersäure, welche aus Sauerstoff und Stickstoff besteht und vom Ersteren leicht einen Theil an andere Stoffe abgiebt. Zinn bleibt an trockener Luft bekanntlich ganz unverändert, und um es direkt mit Sauerstoff zu vereinigen, zu oxydiren, müssen wir es bei Luftzutritt stark erhitzen. Bringen wir aber Salpetersäure mit diesem Metalle zusammen, so erfolgt die Bildung von Zinnoxyd ungemein rasch, und alles Zinn wird in gewöhnlicher Temperatur in Zinnoxyd umgewandelt. Was wir eben vom Zinn erzählten, gilt auch von den meisten anderen Metallen, und die Fälle sind überhaupt sehr zahlreich, wo durch Vermittlung einer Sauerstoffverbindung Oxyde leichter hervorgebracht werden, als bei unmittelbarer Vereinigung. Wir sind demnach genöthigt anzunehmen, daß auch in gewissen Verbindungen des Sauerstoffs sich dieser wenigstens zum Theil mit größerer Affinität ausgestattet vorfindet, als im gewöhnlichen, unverbundenen Zustande, und pflegen diese Erscheinung, welche sich auch bei anderen Elementen kundgiebt, auf den Umstand zurückzuführen, daß der Sauerstoff sich dabei im Momente des Freiwerdens, Entstehens (status nascens), befinde, und deßhalb eben höhere Verwandtschaftskräfte äußere; womit freilich noch keine Erklärung dieser wichtigen Thatsache gegeben ist, von der wir hier vorläufig noch ein Beispiel anführen wollen. Stickstoff und Wasserstoff sind zwei permanente Gase, welche sich unmittelbar, im unverbundenen Zustande zusammengebracht, unter keinerlei Umständen verbinden; doch ist uns das Ammoniak, eine Verbindung dieser beiden Elemente, bekannt, ein Körper, den wir später näher kennen lernen wollen. Er entsteht in sehr mannigfaltiger Weise, immer aber nur wenn die beiden Elemente, welche seine Bestandtheile ausmachen, sich im Entstehungsmomente treffen. Einer der einfachern hierher gehörigen Vorgänge ist die Zersetzung der Salpetersäure durch Wasserstoff. Wenn wir in die Salpetersäure, welche eine Flüssigkeit ist, und wie bemerkt aus Stickstoff und Sauerstoff besteht, noch so lange Wasserstoffgas einleiten, so entweicht es unverändert, und auch die Säure erleidet keinerlei Veränderung. Anders gestalten sich jedoch die Erfolge, wenn der Wasserstoff im Entstehungsmomente mit der Salpetersäure zusammentrifft. Dieß läßt sich leicht veranlassen, falls man Zink, Schwefel- und Salpetersäure, mit Wasser verdünnt, gleichzeitig auf einander wirken läßt. Wir schicken voraus, daß Zink, Schwefelsäure und Wasser, unter Zerlegung des letzteren, Zinkoxyd und Wasserstoff liefern, während die Schwefelsäure sich mit dem so erzeugten Zinkoxyd verbindet. Wenn nun gleichzeitig Salpetersäure gegenwärtig ist, so beobachten wir eine doppelte Wirkung vom Entstehungszustande des Wasserstoffs. Erstlich wird der Salpetersäure der Sauerstoff entzogen, er bildet mit dem Wasserstoff Wasser, was, wie wir gesehen haben, nicht geschieht, sobald der Wasserstoff im gewöhnlichen Zustande mit der Salpetersäure zu-

Digitized by Google

sammenkommt; der Stickstoff aber, welcher solchergestalt frei wird, vereinigt sich ferner im Entstehungsmomente mit einem weiteren Antheile Wasserstoff zu Ammoniak.

Mittheilung der chemischen Bewegung.

Ein anderer Umstand, welcher die gewöhnlichen Verwandtschaftsäußerungen steigernd abändert, die sogenannte Mittheilung der chemischen Bewegung, sowie die in ähnlicher Weise wirkende Berührung mit starren, sehr fein vertheilten Körpern, behalten wir uns vor, später zu erörtern. Doch werden die obigen Angaben über die Modificationen, welche die Intensität der chemischen Verwandtschaft durch verschiedene Umstände erleidet, hinreichen, um dem Leser ein vorläufiges Bild von der unendlichen Mannigfaltigkeit zu geben, welche sich bei Aeußerung der Affinität kund thut.

Die Körper verbinden sich immer in constanten Gewichtsverhältnissen.

Nachdem durch Lavoisier und seine Nachfolger erkannt und festgestellt war, welche die nächste Ursache der so lange falsch gedeuteten chemischen Umwandlungen sei, wendete sich die Aufmerksamkeit der Chemiker in verstärktem Maße den Gewichtsveränderungen zu, die sich an den Körpern vor und nach der Verbindung beobachten ließen. Durch die mannigfaltigsten und mit größter Sorgfalt angestellten Versuche wurde zunächst erwiesen, daß, wenn zwei Körper sich mit einander verbinden, das Gewicht des Produktes genau gleich ist dem Gewichte der beiden Bestandtheile zusammengenommen, daß also bei der chemischen Vereinigung die Bestandtheile an Gewicht weder zu- noch abnehmen. Eine genauere Beobachtung der Gewichtsverhältnisse, in welchen die verschiedenen Körper sich befinden, führte bald zu einer ungemein wichtigen, und für die Entwicklung unserer Wissenschaft höchst folgereichen Entdeckung. Man fand nämlich, daß die Gewichtsmengen, in welchen sich die Körper zu chemischen Verbindungen vereinigen, keineswegs schwankende, willkürliche Größen sind, sondern daß im Gegentheile jede Verbindung, immer und ohne Ausnahme, nur nach einem constanten und unveränderlichen Gewichtsverhältnisse zusammengesetzt ist. Der Zinnober besteht z. B., wie erwähnt, aus Quecksilber und Schwefel, und kann durch Erhitzen der beiden Elemente hervorgebracht werden. Mögen nun die Gewichtsmengen, in welchen man das Quecksilber vor der Erwärmung mengt, noch so mannigfaltig abgeändert werden, so sehen wir die Verbindung doch nur in dem Verhältniß von 100 Theilen Quecksilber auf 16 Theile Schwefel vor sich gehen. Was von einem dieser Elemente mehr hinzugebracht wurde, als diesen erfahrungsmäßig ausgemittelten Zahlen entspricht, bleibt unverbunden zurück. Wasserstoff und Sauerstoff bilden bekanntlich zusammen Wasser. Immer sind darin auf 1 Gewichtstheil Wasserstoff 8 Gewichtstheile Sauerstoff enthalten, somit auf 2 Theile Wasserstoff 16 Theile Sauerstoff, oder auf $2^1/_2$ Theile Wasserstoff 20 Theile Sauerstoff, denn wir dürfen nicht vergessen, daß wir es hier nicht mit absoluten Werthen, sondern mit relativen Zahlen zu thun haben. Derlei Verhältnisse beobachten wir bei allen chemischen Verbindungen, so, daß sich als ein allgemein gültiges Naturgesetz aussprechen läßt: die chemischen Verbindungen gehen immer nach constanten, unabänderlichen Gewichtsverhältnissen vor sich.

Als man nun diese Gewichtsmengen, in welchen die Elemente sich untereinander verbinden, möglichst genau festgestellt hatte, so ergab sich aus der Vergleichung der Zahlen ein anderes merkwürdiges Gesetz, welches wir am Besten an einigen einzelnen Fällen einsehen lernen können. Betrachten wir die Ziffern, welche zum Vorschein kommen, wenn man bei einigen Elementen die Gewichtsmengen vergleicht, die nöthig sind, um mit 100 Gewichtstheilen

Digitized by Google

Sauerstoff eine chemische Verbindung einzugehen. Es sind dazu erfahrungsmäßig erforderlich von

Schwefel	200	Gewichtstheile,
Wasserstoff	12,5	"
Calcium	250	"
Chlor	443,3	"
Kohlenstoff	75	"
Kalium	490	"
Silber	1350	"
Stickstoff	175	"

u. s. w. Nun gehen aber diese Elemente auch unter sich Verbindungen ein, die natürlich ebenfalls nach constanten Gewichtsverhältnissen stattfinden müssen. Fragen wir die Erfahrung nach diesen, so finden wir merkwürdiger Weise dieselben relativen Zahlen wieder, welche sich bei den Verbindungen mit Sauerstoff herausgestellt haben. Waren demnach gerade 12,5 Gewichtstheile Wasserstoff nöthig, um die 100 Theile Sauerstoff zu binden, so genügen erstere genau für 200 Theile Schwefel, 443,3 Theile Chlor, 75 Theile Kohlenstoff, 175 Theile Stickstoff. 200 Theile Schwefel verbinden sich mit 443,3 Theilen Chlor, 250 Theilen Calcium, 490 Theilen Kalium, 1350 Theilen Silber. Die Verbindung des Chlors mit Silber besteht aus 1350 Theilen Silber auf 443,3 Theilen Chlor, kurz, wenn man das Gewichtsverhältniß ausgemittelt hat, in welchem sich ein Element mit einem zweiten verbindet, so ist damit auch schon diejenige Gewichtsmenge gegeben, welche nöthig ist, um die Quantität eines dritten Elementes vollständig zu binden, die gerade erforderlich war, um sich mit dem Ersten zu vereinigen. Diese Zahlen bezeichnen also gewissermaßen die gleichen chemischen Werthe der Elemente, weßhalb man sie auch Aequivalente, Mischungsgewichte, genannt hat. Man stellt sie zur leichteren Uebersicht gewöhnlich so zusammen, daß sie ausdrücken, wie viele Gewichtstheile des betreffenden Elementes nöthig sind, um 100 Theile Sauerstoff oder 1 Theil Wasserstoff zu binden. Es ist klar, daß, da es sich hier nur um relative Werthe handelt, es gleichgültig ist, welches Element gerade zum Ausgangspunkt der Vergleichung gewählt wird. Da aber der Sauerstoff sich, mit einer einzigen Ausnahme, mit allen Elementen verbindet, so pflegt man eben diesen, oder auch Wasserstoff, als Einheit anzunehmen, welcher wieder den Vortheil darbietet, daß die Zahlen sehr klein ausfallen und viele davon zugleich ein sehr einfaches Multiplum von 1 vorstellen, das leicht im Gedächtniß haftet, wie sich aus folgender Tabelle ergiebt, wo die durch möglichst genaue Versuche ausgemittelten Aequivalente der Elemente, für Sauerstoff = 100 und Wasserstoff = 1, zusammengestellt sind.

Aequivalente. Stöchiometrie.

Name des Elementes.	Sauerstoff = 100	Wasserstoff = 1	Name des Elementes.	Sauerstoff = 100	Wasserstoff = 1
Aluminium Al	171,25	13,7	Bor B	136,20	10,9
Antimon Sb	1503,8	120,3	Brom Br	1000,00	80,0
Arsenik As	940,00	75,2	Cadmium Cd	696,77	55,8
Barium Ba	855,29	68,5	Calcium Ca	250,00	20,0
Beryllium Be	87,1	7,0	Cerium Ce	591,00	47,3
Blei Pb	1294,64	103,7	Chlor Cl	443,28	35,5

Digitized by Google

Name des Elementes.	Sauerstoff = 100	Wasserstoff = 1	Name des Elementes.	Sauerstoff = 100	Wasserstoff = 1
Chrom Cr	329,00	26,3	Quecksilber Hg	1250,00	100,0
Didym D	620,00	49,6	Rhodium Rh	651,96	52,2
Eisen Fe	350,00	28,0	Ruthenium Ru	651,00	52,1
Fluor Fl	237,50	19,0	Sauerstoff O	100,00	8,0
Gold Au	2462,50	197,0	Schwefel S	200,00	16,0
Jod J	1586,00	127,0	Selen Se	495,28	39,7
Iridium Ir	1233,75	98,7	Silber Ag	1350,00	108,0
Kalium K	490,00	39,2	Silicium Si	277,77	22,3
Kobalt Co	368,65	29,5	Stickstoff N	175,00	14,0
Kohlenstoff C	75,00	6,0	Strontium Sr	548,00	43,8
Kupfer Cu	395,60	31,7	Tantal Ta	2300,00	184,0
Lanthan La	588,00	47,0	Tellur Te	801,76	64,2
Lithium Li	81,66	6,5	Thorium Th	743,86	59,6
Magnesium Mg	150,00	12,0	Titan Ti	301,55	24,1
Mangan Mn	344,68	27,6	Uran U	750,00	60,0
Molybdän Mo	574,80	46,0	Vanadin V	856,89	68,7
Natrium Na	287,20	23,0	Wasserstoff H	12,5	1,0
Nickel Ni	369,33	29,6	Wismuth Bi	2600,00	208,0
Osmium Os	1245,00	99,6	Wolfram W	1150,78	92,0
Palladium Pd	665,47	53,3	Zink Zn	406,59	32,5
Phosphor P	400	32	Zinn Sn	735,29	58 9
Platin Pt	1233,75	98,7	Zirkonium Zr	419	33,5

Es mag nicht überflüssig sein, den Leser daran zu erinnern, daß alle angeführten Zahlen uns nur die Gewichtsverhältnisse angeben, in welchen die Elemente Verbindungen eingehen, daß sie uns ferner für alle Fälle gestatten, die Menge des einen Körpers zu bestimmen, die nothwendig ist, um mit einer gewissen Quantität eines anderen eine chemische Verbindung einzugehen. Fragen wir z. B., wie viel Theile Chlor für 62 Theile Kalium nöthig sind, um eine Verbindung damit hervorzubringen, so sehen wir aus der Tabelle, daß auf 490 Theile Kalium 443,3 Chlor erforderlich sind, und wir haben somit die Gleichung $490 : 443{,}3 = 62 : x$; daraus ergiebt sich der Werth von x mit 56,09. Hätten wir die in der zweiten Kolumne, wo Wasserstoff = 1 gesetzt ist, vorfindlichen Zahlen benutzt, so wären wir zu denselben Resultaten gelangt, denn

$$39{,}2 : 35{,}5 = 62 : x,$$

und somit

$$x = 56{,}09.$$

Wenn wir früher sagten, daß die Elemente nur in einem constanten Verhältnisse sich zu verbinden vermögen, so haben wir vorläufig eine unbegründete Behauptung aufgestellt, um unsere Leser nicht mit zu viel Thatsachen auf einmal bekannt zu machen, und beeilen uns nun zu berichtigen, daß dies keineswegs der Fall ist, daß im Gegentheile sich viele Elemente unter einander in mehreren Verhältnissen vereinigen; doch werden wir gleich sehen, wie sich die erste Behauptung mit der jetzigen Angabe ganz gut in Einklang bringen läßt, und die Aequivalente unter allen Umständen zur Geltung kommen. Eine größere Reihe von Sauerstoffverbindungen bildet, um von den zahlreichen bekannten Fällen einen einfacheren als Beispiel anzuführen, der schon mehrmals erwähnte Stickstoff. Es sind fünf wohlcharakterisirte Oxyde desselben bekannt. Bei ihrer Untersuchung stellte sich ihre Zusammensetzung in 100 Theilen folgendermaßen heraus:

Digitized by Google

	Stickstoffoxydul	Stickoxyd.	Salpetrige Säure.	Unterſalpeterſäure.	Salpeterſäure.
Sauerſtoff	36,40	53,33	63,20	69,56	74,10
Stickſtoff	63,60	46,67	36,80	30,44	25,90
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Dieſe Zahlen würden nun wohl noch keine beſondere Einfachheit in den Verbindungsverhältniſſen verrathen, wenn wir aber nachſehen, welche Zahlen zum Vorſchein kommen, falls man von dem Aequivalent des Stickſtoffs ausgeht, ſo erhalten wir folgende einfache Beziehungen: 14 Stickſtoff : 8, 16, 24, 32, 40 Theilen Sauerſtoff. Ein ganz ähnliches Verhältniß beobachten wir bei den Verbindungen des Kaliums mit Schwefel. Die erſte enthält auf 39,2 Theile Kalium 16 Theile Schwefel, beſteht alſo aus gleichen Aequivalenten. In der zweiten ſind auf dieſelbe Menge Kalium 32, in der dritten 48, in der vierten 64, in einer fünften endlich 80 Theile, oder einfacher ausgedrückt: 1, 2, 3, 4 und 5 Aequivalente Schwefel enthalten. Außer dieſen Verbindungen kennen wir noch eine, welche auf 78,4 Theile Kalium 80 Theile Schwefel, und eine zweite, die auf eben ſoviel Kalium 102 Theile Schwefel enthält, was auf 2 Aequivalente Kalium 5 und 7 Aequivalente Schwefel giebt. Auf ſolche einfache Verhältniſſe laſſen ſich alle Verbindungen der Elemente zurückführen, und nirgends beobachten wir dießfalls eine Abweichung von dem erörterten Geſetze. Wir haben nun noch das Verhalten der Verbindungen von zwei oder mehreren Elementen zu beſprechen, wenn dieſe, wie ſo häufig geſchieht, noch weitere Affinität zu anderen Verbindungen zeigen. Hier begegnen wir der intereſſanten Thatſache, daß nicht nur eben ſo einfache und conſtante Gewichtsverhältniſſe bei der Verbindung obwalten, ſondern daß dieſe zugleich ohne Ausnahme ſich auf die Aequivalente der Elemente zurückführen laſſen. Man kann dieß einfach durch folgenden Satz ausdrücken: das Aequivalent einer Verbindung iſt immer gleich der Summe der Aequivalente der darin enthaltenen Elemente. Wir wiſſen z. B. ſchon, daß die Salpeterſäure auf 1 Aeq. Stickſtoff 5 Aeq. Sauerſtoff enthält. 1 Aeq. Stickſtoff beträgt 14; 1 Aeq. Sauerſtoff 8; es ſind alſo in der Salpeterſäure auf 14 Theile Stickſtoff $5 \times 8 = 40$ Theile Sauerſtoff enthalten. Dadurch iſt aber auch ſchon das Aeq. der Säure beſtimmt. Es muß der Summe dieſer Zahlen gleich ſein, und ſomit 54 betragen. Waſſer, welches bekanntlich gleiche Aeq. Waſſerſtoff und Sauerſtoff, alſo auf 1 Gewichtstheil Waſſerſtoff 8 Gewichtstheile Sauerſtoff enthält, hat das Aeq. 9, und in der That finden wir, daß, wenn Salpeterſäure und Waſſer ſich vereinigen, dieß in den Gewichtsverhältniſſen von 54 : 9 geſchieht. Die Salpeterſäure verbindet ſich zudem mit vielen anderen Körpern, z. B. dem Oxyd des Kaliums, welches, dem Waſſer entſprechend zuſammengeſetzt, ebenfalls aus gleichen Aeq. der beiden Elemente, alſo aus 39,2 Kalium auf 8 Theile Sauerſtoff beſteht. Das Aeq. des Kaliumoxyds iſt ſomit $39,2 + 8 = 47,2$, und wenn die Salpeterſäure ſich damit verbindet, ſo vereinigen ſich immer 54 Theile Säure mit 47,2 Theilen Kaliumoxyd. So zahlreich und mannigfaltig auch die Verbindungen ſind, welche daraus entſtehen, daß einfache Verbindungen ſich zu ſolchen einer höheren Ordnung vereinigen, ſo läßt ſich doch bei keiner derſelben eine Abweichung von dem eben erörterten Geſetze beobachten; auch dann nicht, wenn, wie häufig ſtattfindet, Verbindungen ſich

Digitized by Google

in mehreren Verhältnissen vereinigen. Die Salpetersäure liefert z. B. noch eine zweite Verbindung mit Wasser, welche auf 54 Theile Säure 36 Theile Wasser enthält. Wir erkennen sehr leicht, daß hier 4 × 9 Gewichtstheile, also 4 Aeq. Wasser mit 1 Aeq. Salpetersäure verbunden sind.

Wie einfach auch diese Verhältnisse uns erscheinen mögen, so schwierig war es doch, dieselben aufzufinden. Wenzel und Richter, zwei deutsche Chemiker, machten zuerst auf gewisse Regelmäßigkeiten in der quantitativen Zusammensetzung, mehrere Verbindungen, aufmerksam, doch fanden diese beiden Chemiker keine Beachtung. Proust, Dalton, Davy, namentlich aber der schwedische Chemiker Berzelius, nahmen später die dießfälligen Versuche mit genügenderen Mitteln wieder auf, und durch ihre Bemühungen, die sorgfältigste Aufmerksamkeit, welche sie der Feststellung der in einer Verbindung vorhandenen Gewichtsmengen der einzelnen Elemente widmeten, wurde nicht nur die Thatsache festgestellt, daß die Verbindungen nach unabänderlichen constanten Gewichtsverhältnissen stattfinden, sondern sie bestimmten auch die Aeq. mit vieler Genauigkeit. Die von Berzelius aufgefundenen Zahlen haben größtentheils bis auf geringere durch die besseren Methoden der neueren Chemie bedingten Abänderungen heute noch volle Geltung.

Chemische Symbole und Formeln.

Mit der Entwicklung des Begriffs der Aeq. bildete sich besonders durch Berzelius, dem unsere Wissenschaft überhaupt unendlich viel verdankt, die chemische Zeichenschrift aus. Man ist überein gekommen, die einzelnen Elemente mit bestimmten Symbolen zu bezeichnen und wählte dazu die Anfangsbuchstaben ihrer lateinischen Namen. So werden z. B. Sauerstoff mit O (Oxygenium), Wasserstoff mit H (Hydrogenium), Stickstoff mit N (Nitrogenium) bezeichnet. Wo die Namen mehrerer Elemente mit demselben Buchstaben beginnen, setzt man bei den übrigen noch einen der folgenden Buchstaben hinzu, um jedes Mißverständniß zu vermeiden. So schreibt man Schwefel S, Silicium Si, Selen Se, Antimon Sb (Stibium), Zinn St (Stannum). In der obigen Tabelle finden sich alle Symbole der Elemente in der ersten Colonne angegeben. Diese Zeichen bedeuten uns aber nicht nur die Elemente als solche, sondern sie drücken auch zugleich das Mischungsgewicht, das Aequivalent, aus. Wenn wir daher O, H, S, N u. s. w. schreiben, so bezeichnen wir mit diesen Symbolen zugleich 8 Gewichtstheile Sauerstoff, 1 Theil Wasserstoff, 16 Theile Schwefel, 14 Theile Stickstoff ꝛc., und damit ist uns ein eben so einfaches als wichtiges Mittel gegeben, die Zusammensetzung der chemischen Verbindungen, welche wir bereits kennen und durch genaue Analysen festgestellt haben, allgemein verständlich auszudrücken, ohne erst nöthig zu haben, die Gewichtsmengen, welche dabei aufgefunden wurden, durch Zahlen zu bezeichnen. Um eine Verbindung zu schreiben, welche aus gleichen Aequivalenten verschiedener Elemente besteht, setzt man die Symbole derselben einfach unmittelbar neben einander. So bedeutet HO die Verbindung von 1 Theile Wasserstoff mit 8 Theilen Sauerstoff, also Wasser, KCl eine Verbindung von gleichen Aequivalenten Kalium und Chlor, NO eine solche von gleichen Aequivalenten Stickstoff und Sauerstoff. Alle durch derlei Aneinanderreihungen von Symbolen hervorgebrachte Ausdrücke für die Zusammensetzung der Verbindungen nennt man chemische Formeln. Kommt in den zu bezeichnenden Körpern ein oder das andere Element zu mehreren Aequivalenten vor, so wird dieß durch eine neben dem Zeichen des Elementes rechts angeschriebene Zahl ausgedrückt, SO_3 bedeutet 1 Aeq. Schwefel mit 3 Aeq. Sauerstoff, Fe_2Cl_3 2 Aeq. Eisen mit 3 Aeq. Chlor, C_4H_5O 4 Aeq. Kohlenstoff mit

Digitized by Google

5 Aeq. Wasserstoff und 1 Aeq. Sauerstoff. Will man aber eine bestimmte Anzahl von Aeq. einer chemischen Verbindung bezeichnen, so schreibt man die betreffende Ziffer links von den zusammengestellten Symbolen und sie gilt dann für alle folgenden Zeichen, so weit diese nicht durch Unterscheidungszeichen von einander getrennt sind. SO_3 ist Schwefelsäure, $2SO_3$ bedeutet 2 Aeq. derselben, somit also in Summe 2 Aeq. Schwefel und 6 Aeq. Sauerstoff. Sollen aber mehrere Verbindungen geschrieben werden, die sich vereinigt haben, so geschieht dieß, indem man ihre Formeln neben einander setzt und durch einen Beistrich oder das mathematische Pluszeichen + trennt. SO_3,HO bedeutet also eine Verbindung von gleichen Aeq. Schwefelsäure und Wasser, $2SO_3$,HO eine Verbindung von 2 Aeq. Schwefelsäure mit 1 Aeq. Wasser. Wollen wir aber z. B. 3 Aeq. der ersten Verbindung schreiben, so setzen wir die betreffende Ziffer links und schließen die durch Unterscheidungszeichen getrennten Formeln, um anzudeuten, daß die Zahl für alle gilt, mit Klammern ein. Also $3(SO_3,HO)$.

So bequem nun der Gebrauch der chemischen Formeln ist, wenn es sich darum handelt, die Zusammensetzung eines Körpers kurz und übersichtlich darzustellen, so wichtig erscheinen sie uns auch in ihrer Anwendung bei Versinnlichung chemischer Umwandlungen, wozu sie eben so leicht benutzt werden können. Um chemische Prozesse durch Formeln auszudrücken, welche man dann ein Schema nennt, stellt man die Symbole der Körper, die in Wechselwirkung treten, zusammen und verbindet sie durch das mathematische Gleichheitszeichen = mit den Formeln, welche das Resultat des chemischen Vorgangs versinnlichen. $HCl + KO = KCl + HO$ bedeutet, daß die Verbindung von Wasserstoff mit Chlor sich mit dem Kaliumoxyd zu Chlorkalium und Wasser umsetzt u. s. w.

Wenn man bedenkt, daß der Chemiker sehr viele chemische Processe kennt und im Gedächtnisse behalten soll, um sie bei seinen Combinationen oder Versuchen zu benutzen, daß er also ohne die Formeln genöthigt wäre, die durch selbe repräsentirten Zahlen sich zu merken oder sie, falls ihm dieß nicht gelingt, mühsam zusammenzustellen, um sie dann, so oft es nöthig ist, wieder mit großem Zeitverlust aufzusuchen, während ihm jetzt ein Blick auf die Formel alles lehrt, was er in dieser Hinsicht zu wissen braucht, so kann man jenen Männern, welche diesen ebenso einfachen als sinnreichen Weg aufgefunden, um die qualitative und quantitative Zusammensetzung der Verbindungen präcis und übersichtlich auszudrücken, nicht genug Dank wissen.

Theorie der Atome.

Es ist klar, daß sowohl die chemischen Umwandlungserscheinungen an sich als namentlich die eben zuvor erörterten stöchiometrischen Thatsachen viele Chemiker aufforderten, selbe zu erklären und den Grund dieser Erscheinungen auf eine einfache Ursache zurückzuführen. Wir haben schon früher hervorgehoben, wie selbst heute noch die eigentliche Ursache der chemischen Verwandtschaft uns verborgen ist, doch können wir uns über gewisse bei der Aeußerung der Affinität zur Geltung kommende Erscheinungen mit Zuhülfenahme einer Theorie Rechenschaft geben, zu welcher überdieß auch andere, außerhalb dem engeren Gebiete der Chemie liegende Thatsachen immer mehr drängen, welcher Umstand wohl für die Richtigkeit der sogleich zu besprechenden Annahmen zu bürgen scheint. Alle Eigenschaften der Materie, soweit wir diese überhaupt zu erkennen im Stande sind, deuten darauf hin, daß die Körper aus sehr kleinen Theilchen bestehen, die, mit gewissen Anziehungskräften ausgestattet, sich zu dem uns sinnlich wahrnehmbaren Materiellen vereinigen. Schon unter den griechischen Philosophen machte sich diese Voraussetzung geltend. Die

Digitized by Google

Gedankenlosigkeit, mit welcher die ersten Chemiker, namentlich die Alchemisten, chemische Umwandlungen zu beobachten gewohnt waren, der Eifer, mit welchem man zur Zeit der medicinischen Chemie den eingebildeten Zwecken unserer Wissenschaft nachstrebte, verhinderten in jenen Perioden, daß die bessern vorurtheilsfreieren Fachgenossen jene Idee der kleinsten Theilchen zur Erklärung chemischer Erscheinungen benutzten. Mit Boyle und einzelnen seiner Nachfolger tauchten wieder Versuche auf, die kleinsten Theilchen in die Wissenschaften einzuführen; aber erst, nachdem Lavoisier die wahre Ursache der chemischen Umwandlungen aus einer Verbindung heterogener Körper zu einem gleichartigen Ganzen oder der Abscheidung derselben aus einem solchen abzuleiten wußte, als später die Gesetze, welchen die Gewichte der Körper bei der chemischen Verbindung folgen, immer deutlicher hervortraten, fand man dafür in der Annahme der kleinsten Theilchen eine Erklärung, die sich mit allen bekannten Thatsachen in Einklang bringen ließ und, wir müssen dieß besonders hervorheben, bei jeder Erweiterung der Wissenschaft immer neue Stützen fand, so daß wir selbe gegenwärtig durchaus nicht entbehren können, wenn es sich darum handelt, den nächsten Grund der chemischen Verbindungsgesetze zu erläutern. Es waren besonders Dalton, Davy und Berzelius, welche theils durch Speculation, theils durch sorgfältige Versuche dieser Theorie eine streng wissenschaftliche Grundlage boten und wir wollen in Folgendem nachweisen, daß sie in der That, wenn wir von der letzten Ursache der Affinität absehen, alle den Chemismus betreffende Erscheinungen ganz genügend erklärt. Unsere Theorie setzt voraus, daß die gesammte Körperwelt aus ungemein kleinen Theilchen bestehe, welche sich wenigstens durch die uns bekannten Mittel und Kräfte nicht weiter theilen lassen, weßhalb man sie Atome (*α* privativum und *τέμνειν*) nennt. Atome sind demnach für uns untheilbare Körperchen, denen die Eigenschaft zukömmt, sich zu größeren theilbaren Massen zu vereinigen, in welchen sich die Atome in ungeheurer Anzahl neben einander gelagert haben. Nach der modernen atomistischen Theorie bestehen nun sämmtliche Elemente aus Atomen. Diese werden durch die ihnen innewohnende Affinität von den Atomen der andern Elemente angezogen und dadurch bestimmt, sich neben diese in gewissem Sinne einzulagern, wodurch, da eine so innige Mengung hervorgebracht wird, daß eine mechanische Theilung, mit allen uns zu Gebote stehenden Mitteln, eine Abtrennung der heterogenen Atome nicht herbeizuführen vermag, sich die für unsere Sinne scheinbare Gleichartigkeit chemischer Verbindungen erklärt, weil die Atome eben viel zu klein sind, um sich in ihrer Verschiedenheit wahrnehmen zu lassen. Wenden wir das Gesagte auf einen oder den anderen der bereits näher berührten chemischen Vorgänge an, so werden wir im Sinne der atomistischen Theorie z. B. sagen müssen, bei der Oxydation des Zinns lagern sich die Atome des genannten Metalles neben die des Sauerstoffs und bilden so zusammenhängende Gruppen, welche allerdings aus heterogenen Atomen bestehen, uns aber aus oben erörterten Gründen gleichartig erscheinen. Auch solche Gruppen von Atomen sind bekanntlich noch häufig mit Affinität ausgestattet. Das Bleioxyd, aus Atomen von Blei und Sauerstoff bestehend, vereinigt sich leicht mit Säuren, z. B. Salpetersäure, welche wieder aus Atomen von Stickstoff und Sauerstoff besteht; dann lagern sich immer wieder Gruppen dieser Atome neben einander, so höher zusammengesetzte, complicirter aneinander gefügte Aggregate von Atomen bildend. Läßt sich nun in dieser Weise die so durchgreifende Umwandlung in den Eigenschaften der Körper nach ihrer Verbindung

Digitized by Google

oder Trennung auf einen einfachen Grund zurückführen, so gilt dieß auch und fast in noch höherem Grade von den so merkwürdigen Gewichtsverhältnissen, welchen wir schon früher unsere Aufmerksamkeit gewidmet haben. Ja diese sind es zumeist, welche zur Annahme der atomistischen Theorie nöthigten. Wir brauchen nur anzunehmen und dieser Annahme steht keinerlei Beobachtung oder Thatsache entgegen, daß die Atome der Elemente nicht nur verschiedene chemische Eigenschaften, sondern auch ein verschiedenes relatives Gewicht je nach ihrer Natur haben, so ist damit erklärt, warum die Elemente und ihre Verbindungen nicht in schwankenden zufälligen Verhältnissen sich zu vereinigen vermögen. Wie schwer jedes einzelne Atom an sich ist, darüber können wir uns natürlich auch nicht die geringste Vorstellung bilden; allein es läßt sich recht gut denken, daß z. B. die Atome des Eisens viel schwerer sind, als die des Schwefels und diese etwa wieder schwerer, als die des Wasserstoffs. Ueber diese relativen Gewichtsdifferenzen geben uns aber die durch die Erfahrung ermittelten Aequivalente Auskunft, wenn wir uns nur über die Anzahl der Atome vereinigen, die bei Entstehung einer Verbindung zusammengetreten sind. Das einfachste Verhältniß z. B., welches wir bei den Verbindungen des Stickstoffs mit Sauerstoff wahrnehmen, ist zu gleichen Aequivalenten, also 14 Theile Stickstoff auf 8 Theile Sauerstoff. Die atomistische Theorie sagt nun, es haben sich in diesen Produkten je 1 Atom Stickstoff und 1 Atom Sauerstoff verbunden und somit muß das relative Gewicht eines Atoms Stickstoff sich zu dem eines Atoms Sauerstoff verhalten wie 14 : 8, mag nun die absolute Anzahl der Sauerstoff- und Stickstoffatome, sowie das absolute Gewicht der Einzelnen derselben was immer für eines sein, denn über diesen Punkt werden wir uns nie Rechenschaft geben können. Die Zahlen 14 und 8 werden uns aber jetzt mehr repräsentiren, als die Aequivalente; sie stellen uns die relativen Gewichte der Atome des Stickstoffs und Sauerstoffs vor, weßhalb man sie im Sinne der atomistischen Theorie als Atomgewichte bezeichnet.

Der merkwürdige Umstand, daß auch die Verbindungen der Elemente, falls sie neuerdings sich chemisch zu vereinigen vermögen, dieß immer in Gewichtsverhältnissen thun, welche genau der Summe der Aequivalente von den darin enthaltenen Elementen entspricht, findet in der relativ verschiedenen Schwere der Atome ebenfalls eine völlig genügende Erklärung, denn nach dieser treten dann Gruppen von Elementaratomen aneinander, die natürlich ihr Gewicht in keiner Weise zu verändern vermögen. Es versteht sich von selbst, daß wir uns über die Gestalt der Atome keine begründete Vorstellung machen können, doch ist die Annahme, sie seien sphärisch, die einfachste und natürlichste.

Volumtheorie.

Obgleich uns die durch die Erfahrung und sorgfältige Versuche gefundenen Mischungsgewichte völlig unzweifelhaft erscheinen müssen, da sie eben auf unläugbaren Thatsachen beruhen, lassen sich dennoch über die relativen Gewichte der Atome verschiedene Meinungen aufstellen und in der That sind die Chemiker gegenwärtig in diesem Punkte keineswegs völlig einig. Die Verschiedenheit der dießfälligen Ansichten läßt sich auf die Meinung zurückführen, daß wenigstens in manchen Fällen das Aequivalent das Gewicht von mehr als einem Atom eines Elementes repräsentire, wodurch das Atomgewicht ein Bruchtheil des Aequivalents würde. So wissen wir z. B. mit aller Sicherheit, daß in 1 Aeq. Wasser 1 Aeq. Wasserstoff (1 Gewichtstheil) und 1 Aeq. Sauerstoff (8 Gewichtstheile) enthalten sind. Wollen wir die atomistische Theorie ohne Rücksicht auf andere Erscheinungen hier anwenden, so müssen wir einfach sagen, im Wasser sei je 1 Atom Wasserstoff mit 1 Atom

Digitized by G

Sauerstoff verbunden. Nun hat man aber bei Körpern, die sich isolirt in gasförmigem Zustande herstellen lassen, nicht nur die Gewichtsverhältnisse, nach denen sie Verbindungen eingehen, sondern auch die Raumverhältnisse, welche sich dabei geltend machen, sorgfältig beobachtet und ist zu dem interessanten, merkwürdigen Resultat gelangt, daß die Volumina, nach welchen sich die gasförmigen Körper verbinden, noch viel einfachere Verhältnisse darbieten, als die Gewichte. Gay-Lussac, dem wir die wichtigsten hieher gehörigen Beobachtungen verdanken, wies nach, daß bei Bildung des Wassers sich stets 2 Raumtheile, z. B. 2 Cubikfuß Wasserstoff mit 1 Raumtheil (1 Cubikfuß) Sauerstoff verbinden und daß ferner nach der Vereinigung das Wasser als Dampf genau 2 Raumtheile ausfüllt. Es braucht wohl nicht erinnert zu werden, wie nach dem früher über die Aequivalente mitgetheilten, in dem Raumtheile Sauerstoff sich gerade 8 Gewichtstheile desselben vorfinden müssen, wenn in den beiden Raumtheilen Wasserstoff 1 Gewichtstheil davon enthalten war; allein der Umstand, daß eben 2 Raumtheile Wasserstoff nöthig sind, leitet zu der Vermuthung, es seien 2 Atome Wasserstoff mit 1 Atom Sauerstoff in Verbindung getreten. Da nun derlei einfache Verhältnisse sich bei allen gasförmigen Körpern ohne Ausnahme herausstellen, so leitete Berzelius daraus den Grundsatz ab: daß bei gleichem Luftdruck und bei gleicher Temperatur ein und derselbe Raum bei gasförmigen Körpern immer von derselben Anzahl von Atomen ausgefüllt sei. Diesem sehr vielseitig unter dem Namen: Volumtheorie angenommenen Satze zufolge müssen somit bei Bildung des Wassers 2 Atome Wasserstoff und 1 Atom Sauerstoff zusammentreten und da, wie bemerkt, ähnliche Verhältnisse sich auch bei andern Verbindungen häufig herausstellen, so pflegen viele Chemiker in solchem Falle das Aequivalent durch 2 zu theilen, um so das Atomgewicht des Elementes zu erhalten. Wir wollen die anderweitigen Gründe, welche für ein solches Verfahren sprechen, unberührt lassen und den Leser erinnern, daß wir der Einfachheit und Einförmigkeit willen bei der folgenden Darstellung die oben mitgetheilten Aequivalente den Atomgewichten gleichsetzen werden, und machen nur darauf aufmerksam, wie in vielen chemischen Werken und Schriften, wo die Volumtheorie volle Geltung findet, man das Symbol für Doppelatome, die hier in Verbindung vorausgesetzt werden müssen, durch einen Strich bezeichnet, welcher durch das Symbol des Aequivalents gezogen wird. HO bezeichnet uns z. B. Wasser als eine Verbindung von gleichen Aequivalenten seiner Bestandtheile. HO aber bedeutet bei denselben Gewichtsverhältnissen, daß in der Verbindung 2 Atome Wasserstoff mit 1 Atom Sauerstoff vereinigt sind.

Elektrochemische Theorie.

Aus manchen Andeutungen, welche sich in den vorgehenden Zeilen finden, konnte der Leser schon entnehmen, wie bei der chemischen Verbindung oder Zersetzung sich neben der durchgreifenden Veränderung der Beschaffenheit der Körper noch andere wichtige Erscheinungen wahrnehmen lassen, welchen wir bisher nur eine ganz vorübergehende Aufmerksamkeit widmen konnten. Wir wenden uns jetzt zu denselben zurück, indem wir deutlich aussprechen, daß Wärme und Electricität bei allen chemischen Veränderungen eine ungemein wichtige Rolle spielen, über die wir uns leider bis jetzt nicht genügende Rechenschaft geben können. Sobald ein Körper, sei er Element oder Verbindung, mit einem zweiten sich vereinigt, wird immer und ohne Ausnahme Wärme frei. Die Menge der Wärme ist je nach der Natur der sich vereinigenden Stoffe sehr verschieden, bei denselben Substanzen aber, unter übrigens gleichen Umständen, immer dieselbe und unabänderliche Größe. Schon

Digitized by Google

Lavoisier hatte in der Feuererscheinung bei der Verbrennung den Act der chemischen Verbindung als nächste Ursache derselben erkannt und diese Erklärung ist auch bis auf die Neuzeit, mit einigen Erweiterungen, immer noch als völlig richtig anerkannt. Bei einer Verbrennung wird eben, in Folge der Vereinigung zweier Stoffe, so viel Wärme frei, daß wir dieselbe nicht nur deutlich empfinden, sondern auch sehr oft lebhafte Lichterscheinungen wahrnehmen, die bloß Folge der bedeutenden Temperaturerhöhung sind, welcher sowohl die sich vereinigenden Körper, als das Produkt der Verbindung ausgesetzt sind. Lavoisier glaubte bloß beim Sauerstoff die Fähigkeit voraussetzen zu müssen, sich unter Feuererscheinung mit anderen Elementen zu verbinden; spätere Erfahrungen lehrten uns noch mehrere andere Elemente kennen, welchen eine ähnliche Eigenschaft zukömmt. Je nach den Verwandtschaftskräften, gegenüber gewissen anderen Elementen, rufen sie sogar zuweilen dort Feuererscheinungen hervor, wo der Sauerstoff indifferent ist. Man nennt alle Elemente, welche Verbrennung einzuleiten und zu unterhalten im Stande sind, Zünder und die brennbaren, die sich gewissermaßen den Zündern gegenüber passiv verhalten, Radikale.

Um das eben angedeutete durch einige Beispiele zu erörtern, wollen Beispiele.
wir das Verhalten des Sauerstoffs, Schwefels und Chlors gegen einige Radikale prüfen. Daß Kohlenstoff, in Gestalt von Kohle, in Berührung mit dem Sauerstoff der Luft unverändert bleibt, lehrt die tägliche Erfahrung, ebenso, daß bei hinreichendem Erhitzen die Kohle an der Luft zu brennen beginnt und fortglüht, wenn nicht Körper, die die Wärme gut leiten, sich in ihrer unmittelbarsten Nähe finden, und dadurch die Verbrennungstemperatur wieder so weit herabstimmen, daß die Verwandtschaft des Sauerstoffs zum Kohlenstoff aufgehoben wird.

Der Schwefel ist bekanntlich in gewöhnlicher Temperatur starr, in starker Hitze dagegen nimmt er Dampfform an und in diesem Zustande vermag er sich wohl mit stark erhitztem Kohlenstoff zu verbinden. Die Temperaturerhöhung aber, die hier nöthig ist, um die Affinität zwischen den beiden Elementen rege zu machen, überragt bei weitem diejenige, welche durch die Vereinigung veranlaßt wird, so daß von einer eigentlichen Verbrennung nicht die Rede sein kann, obwohl der Vorgang mit dem früheren sonst völlig übereinstimmt. Es ist eben nur ein Mehr oder Weniger von frei gewordener Wärme; die Sache jedoch bleibt dieselbe. Chlor, ein gasförmiger Körper, vereinigt sich direkt mit dem Kohlenstoff, weder in gewöhnlicher noch in hoher Temperatur. Werfen wir dagegen bei ganz mäßiger Wärme, welche dem Sauerstoff gegenüber keineswegs noch eine Verbrennung hervorrufen könnte, gepulvertes Antimonmetall in ein mit Chlorgas gefülltes Gefäß, so vereinigen sich beide Elemente mit lebhafter Feuererscheinung und es findet somit bei Chlor unter Umständen eine Verbrennung statt, welche den Sauerstoff indifferent lassen. So wie Antimon verhalten sich, gegenüber von Chlor, viele Metalle und auch nicht-metallische Elemente. Wird Kupfer an der Luft erhitzt, so bildet sich, wie bemerkt (S. 408), Kupferoxyd, doch beobachtet man kaum eine Feuererscheinung. Bringen wir dagegen Kupferspäne in Schwefeldampf, so verbrennt das Metall unter lebhaftem Erglühen zu Schwefelkupfer. Wir können nun aus diesen Andeutungen entnehmen, daß der Verbrennungsproceß um so lebhafter vor sich geht, je intensiver die Verwandtschaft ist, welche die Elemente zu einander äußern.

Das Gemeinsame bei der Verbrennung ist nicht etwa die Natur

Digitized by Google

der Elemente, die sich verbinden, sondern das Freiwerden von Wärme bei dem Acte der chemischen Vereinigung. Wir sagten nun früher, daß bei jeder chemischen Verbindung Wärme frei wird, somit wäre eigentlich jede Verbindung ein Verbrennungsprodukt. Man schränkt jedoch nach zwei Richtungen den Begriff der Verbrennung ein und läßt diesen Ausdruck nur dann als richtig gelten, wo die frei werdende Wärme so groß ist, daß sie Lichterscheinungen hervorruft, daß die Körper zu leuchten beginnen. Warum sie aber leuchten, wenn sie heiß werden, ist uns bis jetzt noch ein Räthsel. Die zweite Einschränkung bezieht sich auf die Natur des Produktes. Es muß, falls es nach allgemeinem Uebereinkommen als ein Verbrennungsprodukt bezeichnet werden soll, nur aus zwei Elementen bestehen, oder wie man das sehr häufig auszudrücken pflegt, eine binäre Verbindung sein. Wir sehen z. B. Schwefelsäure und Bittererde, wenn sie völlig wasserfrei mit einander in Berührung kommen, sich unter lebhaftem Glühen verbinden, nennen dieß aber keine Verbrennung, denn das Produkt enthält drei Elemente, da die Schwefelsäure aus Schwefel und Sauerstoff, die Bittererde aus dem Metalle, Magnesium und Sauerstoff besteht.

Man wird uns vielleicht einwenden, daß ja so viele brennbare Körper aus mehreren Elementen zusammengesetzt sind, und wir wollen, um diesem Einwurf eine positive Grundlage zu geben, anführen, wie das Paraffin, aus welchem man bekanntlich jetzt ausgezeichnet schöne Kerzen fabricirt, aus Kohlenstoff und Wasserstoff bestehe, und doch werden wir sagen, es verbrenne beim Gebrauche. Der Widerspruch ist jedoch nur ein scheinbarer. Allerdings ist hier das Material der Verbrennung ein zusammengesetzter Stoff, der Act der Verbrennung aber bedingt eine völlige Zerstörung desselben, die damit endigt, daß der Kohlenstoff für sich zu der einfachen Verbindung Kohlensäure, der Wasserstoff zu Wasser verbrenne. Wir beobachten also mehrere Verbrennungsprodukte, wovon aber jedes einzelne ein einfaches ist, und somit dem obigen Begriffe der Verbrennung entspricht.

Wir haben bisher der Verbrennung sehr viel Aufmerksamkeit gewidmet, da sich an dieselbe, nach dem jeweiligen Zustande unserer Wissenschaft, die wichtigsten Vorstellungen und Ansichten, die gerade Geltung hatten, am deutlichsten ersichtlich machen ließen. Jetzt, wo der Leser jedoch erfahren, wie die Verbrennung eigentlich nichts weiter ist, als eine namhafte Steigerung einer, bei jeder chemischen Verbindung ohne Ausnahme eintretenden Erscheinung, welche nur, je nach der Natur der Elemente, oder verschiedener Nebenumstände modificirt wird, wollen wir schließlich jene Theorie vorführen, zu deren Aufstellung eben zunächst der Verbrennungsproceß Veranlassung gab, die aber zugleich in einem höchst merkwürdigen Zusammenhange der chemischen Vorgänge mit einem anderen unwägbaren Stoff, der Electricität nämlich, fußt und behalten uns vor, später an geeigneter Stelle noch einige Einzelheiten über gewisse äußere Verhältnisse bei der Verbrennung nachzutragen.

Aus dem früheren Abschnitte sind dem Leser bereits die zahlreichen Umstände bekannt, unter welchen beim Contact heterogener Körper Electricität frei wird und ein electrischer Strom entsteht. Es wird erinnerlich sein, wie diese Erregung der Electricität ausschließlich mit gleichzeitig eintretenden chemischen Prozessen im Zusammenhange steht. In der That beobachten wir immer, wo zwei Körper, die zu einander Verwandtschaft haben, in wechselseitige Berührung kommen und die Vereinigung nicht so rasch erfolgt ist,

Digitized by Google

daß dadurch die dießfällige Beobachtung unmöglich gemacht wird, die Entstehung eines electrischen Stromes. Wir können also mit Recht daraus schließen, vor der Vereinigung werde in den Körpern Electricität frei. Nach erfolgter Verbindung verschwindet jede Spur electrischer Erregung. Erinnern wir uns nun, daß bei electrischen Entladungen ebenfalls Feuererscheinungen auftreten, daß mit entgegengesetzten Electricitäten ausgestattete leicht bewegliche Körper, wie Korkkügelchen, sich anziehen, also eine Bewegung erleiden, wie wir solche jedenfalls auch bei der Aneinanderlagerung der Atome voraussetzen müssen, so erscheinen uns die chemischen Verbindungen fast nothwendigerweise als Folge einer durch die entgegengesetzten Electricitäten bedingten Anziehung. Davy und Berzelius, welchen wir besonders die Ausbildung der in den obigen Worten angedeuteten electrochemischen Theorie verdanken, nahmen an, und bis in neuerer Zeit wohl der größte Theil aller Chemiker, daß die Verwandtschaft oder vielmehr die Anziehung der heterogenen Atome, die sich als Affinität äußert, lediglich ihren Grund in einem verschiedenen electrischen Zustande der Atome hat. Sobald nun zwei oder mehrere mit verschiedenen Electricitäten beladene Atome einander genähert werden, erfolgt unfehlbar die Anziehung, endlich Berührung und Ausgleichung der Electricität, die sich bekanntlich durch den electrischen Funken kund thut, der die Ursache der Wärme- und Lichtentwicklung bei der chemischen Vereinigung ist. Man hat die Körper, Elemente sowohl, wie Verbindungen, auf ihren electrischen Zustand bei der Berührung mit anderen untersucht und namentlich bei den Elementen eine Reihe aufgestellt, in welcher jeder Körper zu allen nachfolgenden sich negativ, zu den vorhergehenden aber positiv verhält und gefunden, daß im Allgemeinen die Körper um so größere Verwandtschaft zu einander haben, je weiter sie in der electrochemischen Spannungsreihe von einander stehen, was mit der eben entwickelten Annahme übereinstimmt, wonach die Verwandtschaft allerdings um so stärker sein muß, je größer die electrische Differenz ist. Wir lassen hier diese Reihe folgen: Sauerstoff, Schwefel, Stickstoff, Fluor, Chlor, Brom, Jod, Selen, Phosphor, Arsen, Chrom, Vanadin, Molybdän, Wolfram, Bor, Kohlenstoff, Antimon, Tellur, Tantal, Titan, Silicium, Wasserstoff, Gold, Osmium, Iridium, Platin, Rhodium, Palladium, Quecksilber, Silber, Kupfer, Uran, Wismuth, Zinn, Blei, Cadmium, Kobalt, Nickel, Eisen, Zink, Mangan, Didym, Cerium, Lanthan, Thorium, Zirconium, Aluminium, Yttrium, Terbium, Erbium, Beryllium, Magnesium, Calcium, Strontium, Barium, Lithium, Natrium, Kalium.

Eine sehr mächtige Stütze der electrochemischen Theorie bietet die Electrolyse, über deren Wesen der Leser schon im ersten Abschnitte dieses Werkes unterrichtet wurde. Es ist nichts natürlicher, als anzunehmen, daß die Zersetzung chemischer Verbindungen durch den electrischen Strom nichts weiter sei, als eine Wiederherstellung des electrischen Zustandes der Atome vor ihrer Verbindung, unterstützt durch die von den beiden Polen der Säule geübte Anziehung. Wenn wir die bekannte Wasserzersetzung beobachten und sehen, wie am positiven Pole der negative Sauerstoff, am negativen Pole aber der positive Wasserstoff zum Vorschein kömmt; wenn wir bei Anwendung von mehreren Zersetzungszellen, in welchen sich verschiedene der Electrolyse fähige Körper befinden, zudem noch sehen, wie derselbe Strom alle diese Verbindungen in völlig äquivalenter Menge zersetzt, so daß auf je 1 Gewichtstheil Wasserstoff in der einen Zelle, in einer andern gerade 108 Gewichtstheile Silber, falls dort eine Silberverbindung sich befand, weiter

Digitized by Google

35,5 Gewichtstheile Chlor oder 100 Gewichtstheile Quecksilber und so ferner zum Vorschein kommen, daß also dieselbe Electricitätsmenge verschiedene Quantitäten der einzelnen Elemente, aber immer strenge entsprechend den relativen Gewichten ihrer Atome, aus deren Verbindungen abscheidet, so scheint in der That unsere Theorie eine wahre und richtige Erklärung der Affinität und der Art ihrer Aeußerung zu bieten.

Doch läßt sich nicht verhehlen, daß bei genauer Betrachtung sämmtlicher uns bekannter Thatsachen, die electrochemische Theorie ungenügend erscheint und die electrischen Erscheinungen vielleicht mit demselben Rechte als Folge der Affinitätsäußerung, denn die Ursache derselben sich betrachten lassen. Schon zu der Zeit, wo die Theorie aufgestellt wurde, mußte man, um sie den damals erforschten Thatsachen völlig anzupassen, zu gewissen Annahmen seine Zuflucht nehmen, deren Richtigkeit sehr problematisch ist. So wissen wir wohl, daß mit verschiedener Electricität geladene leichte Körper sich anziehen, allein nachdem sie sich berührt und die Ausgleichung stattgefunden, sind die Electricitäten und damit die Anziehung verschwunden; die chemische Verbindung sollte demnach im Augenblicke des Entstehens auch wieder zerfallen, weil die Anziehung, welche zu ihrer Bildung Veranlassung gegeben, aufgehört hat zu wirken, was in der Wirklichkeit aber nicht der Fall ist. Man hat daher ergänzend annehmen müssen, daß jedes Atom beide Electricitäten im getrennten Zustande und zwar so enthalte, daß sie sich nicht vereinigen können und daß immer eine Electricität vorwiege. Wenn nun zwei heterogene Atome sich einander nähern und durch die electrische Anziehung neben einander lagern (chemisch verbinden) so bleiben immer noch an einem Atom positive, am anderen negative Electricität frei, welche sich nicht verbinden können und somit die Anziehung aufrecht halten. Noch complicirter erscheinen diese hypothetischen Verhältnisse, wenn man die so häufig auftretende Nebeneinanderlagerung vieler Atome und die Affinität der so entstandenen Gruppe zu anderen Verbindungen darauf zurückzuführen sucht. Es würde viel zu weit führen, wollten wir all die mehr oder weniger triftigen Einwendungen, welche sich gegen die electrochemische Theorie vorbringen lassen, hier einer Erörterung unterziehen. Manche schlagende Gründe gegen ihre Annahme wird der Leser aus verschiedenen, in den folgenden Blättern mitgetheilten Einzelheiten entnehmen. Doch wollen wir hier noch betrachten, wie sich die Theorie mit manchen Verwandtschaftsäußerungen nicht gut in Einklang bringen läßt. Wir haben oben gesehen, daß sich der Sauerstoff gegen alle anderen Elemente electronegativ verhält. Seine Affinität zu den meisten anderen Elementen ist sehr groß, doch machen ihm in dieser Hinsicht Chlor, Brom und Jod, insbesondere ersteres, den Rang streitig. Das Chlor ist in vielen Fällen im Stande, den Sauerstoff aus seinen Verbindungen geradezu auszutreiben und an seine Stelle zu treten. Nach der electrochemischen Theorie ist der Grund dieser Erscheinung offenbar in einer mächtigeren Anhäufung der negativen Electricität zu suchen, welche sich mit der positiven Electricität der Radikale zu vereinigen strebt und dadurch die Verbindung veranlaßt. Andererseits wissen wir, welche große Verwandtschaft der Kohlenstoff zum Sauerstoff besitzt. Beide Elemente vereinigen sich nicht nur beim Erhitzen unter lebhafter Feuererscheinung unmittelbar, sondern der Kohlenstoff ist sogar im Stande, den meisten Sauerstoffverbindungen diesen zu entziehen. Im Sinne unserer Theorie wäre es in allen diesen Fällen die positive Electricität des Kohlenstoffes, die gegenüber der negativen des

Digitized by Google

Sauerstoffes ihre Anziehung kräftigst ausübt. Wenn wir aber Chlor und Kohlenstoff, welche nach dem Gesagten sich in einem ganz ähnlichen Verhältnisse befinden sollten, unter was immer für Umständen zusammenbringen, so findet nie eine direkte Vereinigung derselben statt, die Chlorverbindungen, mit Kohlenstoff erhitzt, veranlassen ebenfalls nicht die Bildung von Chlorkohlenstoff; kurz, hier üben die beiden Electricitäten keine solche Anziehung aus, wie sie sich aus der electrochemischen Aehnlichkeit des Chlors mit Sauerstoff eigentlich ergeben müßte. Wenn wir unter vielen Einwürfen hier nur einen vorgebracht, so läßt sich nicht leugnen, daß dieser allein schon ausreicht, gegen die Richtigkeit unserer Theorie gerechte Bedenken zu erheben, die auch bereits bei der raschen Entwicklung der Chemie, welche immer neue Gründe gegen die Theorie zu Tage fördert, so umfangreich und gewichtig geworden, daß wir die electrochemische Hypothese füglich als allgemein verlassen bezeichnen müssen. Nichtsdestoweniger pflegt man viele aus derselben abgeleitete Ausdrücke noch immer zu gebrauchen und spricht namentlich von electronegativen Verbindungen, im Gegensatze zu den positiven und ihrer Verwandtschaft zu einander, ohne eben damit die verschiedenen Electricitätszustände in denselben als die Ursache ihrer Affinität bezeichnen zu wollen.

Während nun die Wissenschaft, in ihrem steten Vorschreiten, der electrochemischen Theorie, welche seiner Zeit, bei beschränkteren Erfahrungen, zur Erklärung der chemischen Verwandtschaft ausreichte, eine Stütze nach der anderen raubt, sehen wir uns vergebens nach einem Versuche um, die verlassene Hypothese durch eine neue genügendere zu ersetzen. Niemand hat es mehr gewagt, die Frage nach der nächsten Ursache der Verwandtschaft einer näheren Erörterung zu unterziehen. Diese bleibt einer späteren Periode vorbehalten; wir fühlen, daß die Wissenschaft hiezu noch nicht reif sei, und das Bemühen der Chemiker unserer Zeit ist vorzugsweise dahin gerichtet, durch umfassende Untersuchungen über die Entstehung, Zusammensetzungsweise und Zerlegung der chemischen Verbindungen, sich über die Constitution derselben, d. h. über die Art und Weise, in welcher darin die Elementaratome gruppirt sind, genügende Aufklärung zu verschaffen.

Digitized by Google

III.

Die Metalloide.

Nachdem der Leser in dem vorhergehenden Abschnitte im Allgemeinen mit dem Wesen der chemischen Erscheinungen bekannt gemacht worden, ist es an der Zeit, ihn das Wichtigste von den Einzelnheiten dieser Vorgänge mitzutheilen, um so einen Einblick in das Getriebe der chemischen Prozesse zu gewähren, welche, in unausgesetzter Thätigkeit, die so mannigfaltigen, natürlichen chemischen Umwandlungen veranlassen, oder, von uns künstlich hervorgerufen, wegen ihres technisch wichtigen Erfolges, von bedeutenderem Interesse sind. Vor allem mag hier eine Beschreibung der Elemente und ihrer hervorragenden Verbindungen Platz finden.

Der Sauerstoff.

Sauerstoff (Oxygen), findet sich unverbunden als ein Gemengtheil der atmosphärischen Luft und nimmt an der Zusammensetzung einer sehr großen Anzahl natürlich vorkommender Verbindungen Theil, so, daß er nicht nur als eines der verbreitetsten Elemente zu bezeichnen ist, sondern zugleich in ungeheuer großen Massen auftritt, welche, nach einer freilich nur oberflächlichen Berechnung, $^1/_5$ der Gesammtmenge aller uns bekannten Bestandtheile der Erde ausmacht. Schon diese Massenhaftigkeit des Vorkommens deutet darauf hin, daß der Sauerstoff für die natürlichen chemischen Vorgänge von der größten Bedeutung ist. Sein Vorhandensein erscheint in der That als unentbehrlich für das Leben sämmtlicher Organismen, weshalb man ihn auch Lebensluft genannt hat. Zudem spielt er bei den leblosen Gebilden auf der Erde und ihren stetigen Veränderungen eine sehr wichtige Rolle, und Verbindungen, welche in dieser oder jener Richtung von großem Einflusse sind, wie das Wasser, die Kohlensäure u. a., enthalten auch Sauerstoff.

Eigenschaften des Sauerstoffs.

Dieser ist im reinen, unverbundenen Zustande ein farb- und geruchloses, permanentes Gas, dessen specifisches Gewicht 1,1056 beträgt. Es wird vom Wasser nur zu $^{41}/_{100}$ Raumtheilen, von anderen Flüssigkeiten im Allgemeinen noch spärlicher absorbirt. Da es einen Bestandtheil der Luft ausmacht, so versteht es sich von selbst, daß es respirabel ist, und es mag noch hinzugefügt werden, wie eigentlich nur der Sauerstoff es ist, welcher den Athmungsproceß der Thiere und Pflanzen unterhält. Daß die überhaupt brennbaren Körper mit weit größerer Lebhaftigkeit im Sauerstoffgase verbrennen, als in der Luft, hat einfach seinen Grund darin, daß der reine Sauerstoff erstens viel mehr Theilchen des brennenden Körpers auf einmal zu binden

Digitized by Google

und somit eine lebhaftere Feuererscheinung schon aus dieser Ursache hervorzurufen vermag, und ferner weil ihm nicht, wie in der Luft, ein fremder, indifferenter Körper, der Stickstoff nämlich, beigemengt ist, der einen Theil der frei werdenden Wärme zu seiner Erhitzung in Anspruch nimmt, wodurch das Glühen des brennenden Körpers oder des Verbrennungsproduktes herabgestimmt wird. Senken wir in einen mit Sauerstoff gefüllten Glascylinder einen glimmenden Span, so entzündet er sich augenblicklich, um darin mit glänzender Flamme zu verbrennen.

Verbrennungs-Erscheinungen.

Wie wir schon früher angedeutet, hat das Leuchten bei der Verbrennung seinen Grund in der hohen Temperatur, und wird um so lebhafter sein, je mehr die verbrennenden Körper oder Verbrennungsprodukte die Fähigkeit besitzen, in starker Hitze Licht auszusenden. Eine glühende Kohle leuchtet deßhalb im Sauerstoff sehr lebhaft, da der Kohlenstoff nahezu unschmelzbar und nicht flüchtig ist, und die Erfahrung uns im Allgemeinen lehrt, daß die Lichterscheinung beim Glühen um so lebhafter, je feuerbeständiger der Körper, welcher der hohen Temperatur ausgesetzt wird, ist. Beim Verbrennen der Kohle entsteht gasförmige Kohlensäure, welche, trotz der großen Hitze, nicht leuchtet. Entzünden wir dagegen den so leicht brennbaren Phosphor im Sauerstoff, so erhalten wir eine sehr glänzende Lichterscheinung, da das Verbrennungsprodukt, die Phosphorsäure, ein starrer Körper ist. Eine Stahlfeder, im Sauerstoff zum Glühen gebracht, verbrennt unter lebhaftem Funkensprühen, mit bedeutendem Glanze, zu dem festen Eisenoxyduloxyd. Welchen Einfluß übrigens die Natur des verbrennenden Körpers, abgesehen von den eben angedeuteten Verhältnissen auf die Intensität und Farbe des Lichtes, ausübt, können wir zur Zeit mit Bestimmtheit noch nicht aussprechen. Doch ist ein solcher Einfluß unläugbar; so verbrennt z. B. Schwefel mit blauem, Kupfer mit grünlichem, Zink mit bläulich weißem, Calcium mit rothem Lichte, u. s. w.

Oxyde.

Der Sauerstoff ist das electronegativste aller bekannten Elemente und verhält sich gegen alle, ohne Ausnahme, nur als Zünder, nie als Radikal. Es sind natürlich sehr viele Verbindungen desselben bekannt, welche man im allgemeinen mit dem Ausdrucke Oxyde bezeichnet, und, wenn mehrere Verbindungsverhältnisse bei einem Elemente auftreten, so nennt man die Reihe derselben Oxydationsstufen. Unter den Oxyden finden sich gewisse Gruppen, die noch mit Affinität ausgestattet, das Streben zeigen, sich mit anderen Sauerstoffverbindungen zu vereinigen, während andere Oxyde als indifferent zu bezeichnen sind und sehr geringe oder gar keine Affinität mehr äußern. Die Ersteren, d. h. die mit verschiedenen Verwandtschaftskräften ausgestatteten Sauerstoffverbindungen, kann man in zwei große Abtheilungen bringen, die sich in einem entschiedenen eigenthümlichen Gegensatze befinden, und wovon die Glieder jeder Abtheilung unter sich keine Verbindung eingehen, während sie dieß leicht mit denen der entgegengesetzten Gruppe thun. Man nennt sie Säuren und Basen. Es ist unmöglich, eine streng richtige Definition dieser beiden chemischen Begriffe zu geben. Die Säuren, wie schon der Name andeutet, haben, falls sie im Wasser löslich sind, einen mehr oder weniger deutlich sauren Geschmack, besitzen die Fähigkeit, gewisse blaue Pflanzenpigmente, wie Lackmus, Veilchensaft, sogleich zu röthen, während die mit größerer Verwandtschaft ausgestatteten Basen einen ätzenden, laugenhaften Geschmack zeigen, das geröthete Lackmuspigment wieder blau und Veilchensaft grün färben. Sobald die Säure mit einer Basis verbunden ist, ver-

Säuren, Basen und Salze.

Digitized by Google

schwindet auch meistens ihr saurer Geschmack. Die übrigen Eigenschaften werden, wie bei allen chemischen Verbindungen, ebenfalls aufgehoben oder verändert, und wir sagen dann: Diese beiden Stoffe hätten sich wechselseitig gesättigt, neutralisirt. Obwohl wir die berührten Erscheinungen bei allen kräftigen Säuren und Basen deutlich wahrnehmen, giebt es doch viele zu einer oder der anderen dieser Klassen gehörigen Körper, welche weder sauer noch ätzend, laugenhaft schmecken und dennoch Säuren oder Basen sind. Wir können uns über die Frage, wo sie eingereiht werden sollen, jedoch immer leicht Aufklärung verschaffen, wenn wir untersuchen, ob der fragliche Körper zu Säuren oder zu Basen Verwandtschaft hat. Ist das erstere der Fall, so muß er eine Base, zeigt sich das letztere, eine Säure sein. Selten trifft man Oxyde, deren chemischer Charakter zweideutig ist, d. h. sowohl mit Basen wie mit Säuren constante Verbindungen hervorzubringen vermag. Es sind dieß zumeist solche Körper, die überhaupt mit geringer Affinität ausgestattet sind. Das Produkt der Vereinigung einer Säure mit einer Base nennt man allgemein: Salz, und in jedem eigentlichen Salze ist demnach eine Säure und eine Base enthalten. Gleich wie bei anderen Verbindungen, kann man auch hier beobachten, wie dieselben, Säure und Base, häufig sich in mehreren Verhältnissen vereinigen. Man ist übereingekommen, jene Salze als neutral, d. h. so zusammengesetzt, zu bezeichnen, daß die Base die Säure ganz sättigt, ihr gleichsam chemisch das Gleichgewicht hält, wenn im Salze ebensoviel Atome Säure vorhanden sind, als sich in der Base Atome Sauerstoff vorfinden; demnach wäre KO, SO_3 ein neutrales Salz der Schwefelsäure; ebenso $Fe_2O_3, 3SO_3$, obwohl im letzteren Falle auf 1 Atom der Base 3 Atome Schwefelsäure kommen. Findet sich im Salze mehr Säure als diesem Verhältnisse entspricht, so wird es ein saures genannt; ein solches ist z. B. $KO, 2SO_3$. Waltet dagegen die Base vor, wie etwa in $2PbO, NO_5$ oder Fe_2O_3, SO_3, so heißt das Salz ein basisches.

Neutrale, saure und basische Salze.

Neben den Säuren und Basen liefert der Sauerstoff auch, aber nur mit den Metallen, Suboxyde und Superoxyde. Die ersteren sind immer so zusammengesetzt, daß sie, um ein basisches Oxyd zu bilden, Sauerstoff aufnehmen müssen, während im Gegensatze bei den Superoxyden, falls sie in Basen übergehen, Sauerstoff austritt. Die Superoxyde geben überhaupt sehr leicht einen Theil ihres Sauerstoffs ab, weshalb man sie häufig als oxydirende Agentien benutzt. Man hat den Sauerstoff längere Zeit mit Lavoisier als den einzigen Körper betrachtet, welcher Säuren und Basen hervorzubringen vermag, später aber die Unrichtigkeit dieser Annahme erkannt und gefunden, daß auch Schwefel und Selen, selbst, obwohl beschränkter, Tellur, eine ganz ähnliche Fähigkeit besitzen, und, wenn auch lange nicht in dem Umfange wie Sauerstoff, mit gewissen Elementen wenigstens, Verbindungen erzeugen können, die zu einander genau in demselben chemischen Gegensatze stehen, wie die Sauerstoffsäuren und Sauerstoffbasen. Auch in ihnen enthalten Basen und Säuren einen gemeinschaftlichen Bestandtheil, und verbinden sich zu Körpern, deren Zusammensetzung in der Regel die der Sauerstoffsalze nachahmt, mit dem Unterschiede, daß an die Stelle des Sauerstoffs ein anderes Element getreten ist. Säuren, Basen und Salze, wo der Schwefel die Rolle des Sauerstoffs übernommen hat, nennt man Sulfosäuren, Sulfobasen und Sulfosalze. Alle Elemente aber, welche dießfalls den Sauerstoff nachahmen, letzteren eingeschlossen, werden als amphigene, Säuren und Basen bildende, bezeichnet.

Sub- und Superoxyde.

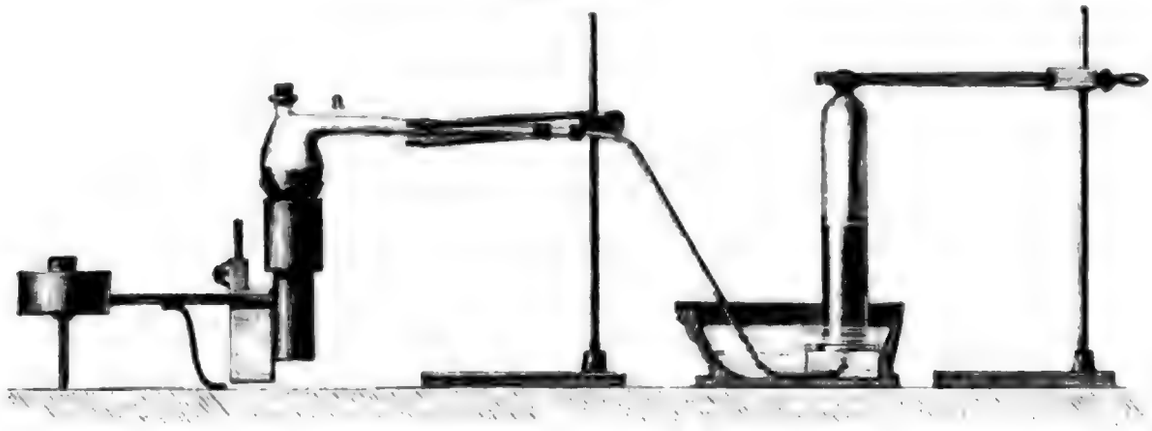
Amphigene Elemente.

Digitized by Google

Es erübrigt noch, die wichtigeren Methoden kennen zu lernen, nach welchen man reines Sauerstoffgas erhalten kann. Ein sehr bequemes Material liefert das rothe Queckſilberoxyd, von deſſen Fähigkeit, bei ſtärkerem Erhitzen in Metall und Sauerſtoff zu zerfallen, ſchon S. 426 Erwähnung geſchehen. Es braucht nur in einer Retorte von ſtreng-flüſſigem Glaſe, die mit einem Gasleitungsrohre verſehen iſt, hinreichend erhitzt zu werden. Darſtellung des Sauerſtoffs.

Alle Superoxyde geben beim Erhitzen einen Theil ihres Sauerſtoffs ab, und können ſomit ebenfalls zur Darſtellung dieſes Elementes dienen. Man benutzt gewöhnlich das Manganſuperoxyd, welches als Braunſtein ſich in größeren Maſſen natürlich vorfindet, indem man ihn gepulvert in einem eiſernen Rohre oder einer ſolchen Retorte ſtarker Glühhitze ausſetzt, wobei er Manganoxyduloxyd zurückläßt ($3MnO_2 = MnO, Mn_2O_3 + 2O$), oder, indem man in einer Retorte mit Schwefelſäure erwärmt, wo ſich Manganoxydul bildet und mit der Schwefelſäure vereinigt, während Sauerſtoff entweicht, $MnO_2 + SO_3, HO = MnO, SO_3 + HO + O$. Im erſteren Falle wird, wie man ſieht, ein Drittel, im zweiten die Hälfte des im Manganſuperoxyd enthaltenen Sauerſtoffs abgeſchieden. Am gewöhnlichſten und bequemſten iſt wohl die Darſtellung des Sauerſtoffs aus dem chlorſauren Kaliumoxyd, einem im Handel vorkommenden Salze, deſſen Säure ungemein zerleglich iſt, und als Radikal das Chlor, ein Element, enthält, welches andererſeits ſehr große Verwandtſchaft zum Kalium zeigt, ſo, daß bei hinreichendem Erhitzen ſämmtlicher Sauerſtoff entweicht, und im Rückſtande Chlorkalium bleibt ($KO, ClO_5 = KCl + 6O$). Man nimmt die Zerlegung in einer Glasretorte a vor, und erleichtert ſie ſehr, wenn dem Salze etwas Kupferoxyd beigemiſcht wird. (Fig. 251.)

(Fig. 251.)



Der Waſſerſtoff.

Waſſerſtoff (Hydrogen). Man findet dieſes gasförmige Element nur ſehr ſpärlich unverbunden in einigen vulkaniſchen Gasexhalationen, namentlich auf Island, dagegen in Verbindung mit Sauerſtoff, als Waſſer, in ſehr großen Quantitäten; auch macht der Waſſerſtoff in den meiſten Fällen einen Beſtandtheil der organiſchen Körper aus; endlich beobachtet man ihn hie und da mit Schwefel oder Chlor verbunden, dann immer nur in kleinen Quantitäten. Obwohl die Maſſe dieſes Elementes im Vergleich mit der des Sauerſtoffs eine namhaft geringere iſt, wetteifert der Waſſerſtoff hinſichtlich ſeiner Wichtigkeit und Bedeutung, für ſehr zahlreiche, natürliche chemiſche Vorgänge, mit dem Sauerſtoff, zu welchem er übrigens ſich in einem ſehr entſchiedenen Gegenſatze findet, da er zu den electropoſitivſten Elementen

Digitized by Google

gerechnet werden muß und demgemäß sein chemischer Charakter von dem des Sauerstoffs weitaus verschieden ist. So mächtig auch seine Affinität, freilich in der dem Sauerstoff entgegengesetzten Richtung, zu wirken vermag, so behauptet der Wasserstoff dennoch in den meisten seiner Verbindungen eine sehr merkwürdige Eigenthümlichkeit, indem er in sehr vielen Fällen darin durch andere Elemente vertreten oder ersetzt werden kann, ohne, daß dadurch, bei noch so großer Verschiedenheit in den äußeren Eigenschaften, der chemische Charakter der so umgewandelten Verbindung eine wesentliche Veränderung erlitte. Seine Eigenschaften, im unverbundenen Zustande, sind in Kürze folgende: er ist ein farb- und geruchloses, permanentes Gas, dessen specifisches Gewicht 0,069 beträgt. Man benutzt es wegen dieser außerordentlichen Leichtigkeit bekanntlich zum Füllen von Luftballons. Mit Sauerstoff gemengt und eingeathmet, wirkt es nicht schädlich auf die Respirationsorgane; mit einem glühenden Körper an der Luft zusammengebracht, entzündet es sich und verbrennt mit dem Sauerstoffe zu Wasser. Die Flamme leuchtet schwach, mit röthlichem Lichte, ist aber außerordentlich heiß, da bei der Verbindung des Sauerstoffs mit dem Wasserstoff ungemein viel Wärme frei wird. Mischt man die beiden Gase in dem zur Bildung des Wassers geeigneten Verhältnisse von 2 Raumtheilen Wasserstoff und 1 Raumtheil Sauerstoff (s. S. 436), so erhält man das sogenannte Knallgas, welches beim Anzünden ungemein heftig explodirt, weil die Verbrennung sich durch die ganze Masse des Gases sehr rasch fortpflanzt, die hohe Verbrennungstemperatur den Wasserdampf sehr bedeutend ausdehnt und dadurch die Luft heftig erschüttert, oder, falls das Gas eingeschlossen war, ein sehr mächtiger Druck auf die Wände des Gefäßes ausgeübt wird.

Eigenschaften des Wasserstoffs.

Knallgas.

Die hohe Verbrennungstemperatur des Knallgases, die stärkste Hitze, welche wir überhaupt auf chemischem Wege erzeugen können, benutzt man in den sogenannten Knallgasgebläsen, welche natürlich so eingerichtet sein müssen, daß das vorräthige Gasgemenge nur allmälig zur Verbrennung gelangt. Man erreicht dieß entweder, indem das Gasgemenge aus dem Behälter zunächst unter Wasser in ein kleineres Gefäß ausströmt und von da erst in ein metallenes Rohr mit fein gebohrter Platinspitze gelangt, welches mit feinem Drahtgewebe angefüllt ist und wo also selbst, wenn die Verbrennung bis in das Rohr und von da weiter schreitet, der Gasvorrath durch Wasser abgesperrt bleibt, oder indem man die beiden Gase aus zwei verschiedenen Gasometern in ein engeres Rohr zusammenleitet, so daß sich immer nur beim Zusammenströmen in der Spitze unmittelbar vor der Verbrennung eine kleine Quantität Knallgas bildet. Natürlich kann der ausströmende Flammenkegel immer nur von geringem Umfange sein, doch reicht er aus, um starken Platindraht rasch zu schmelzen, Eisen und andere Metalle zu lebhafter Verbrennung zu führen, kleine Quantitäten Kieselsäure oder Thonerde zu schmelzen oder einen mäßigen Kegel aus gut gebranntem Kalk in so lebhafte Weißgluth zu versetzen, daß er ein höchst glänzendes Licht ausstrahlt, welches man als Drummond's Licht zur Beleuchtung von den sogenannten Nebelbildern, mikroskopischen Objecten u. dergl. benutzt und auch auf Leuchtthürmen einzuführen versucht hat.

Bildung des Wassers.

Obwohl im Allgemeinen die direkte Vereinigung des Sauerstoffs mit Wasserstoff hauptsächlich unter Vermittlung von Wärme stattfindet, so beobachten wir eine unmittelbare Wasserbildung auch in gewöhnlicher Temperatur, wenn die beiden Bestandtheile mit gewissen fein vertheilten Körpern in

Digitized by Google

Berührung kommen, welche die Gase auf ihrer verhältnißmäßig sehr großen Oberfläche durch mechanische Anziehung, Adhäsion, verdichten und sie so in einen Zustand erregter Affinität versetzen. Hiezu eignet sich ganz besonders fein vertheiltes Platin als sogenannter Platinschwamm oder Platinmohr. In dieser Gestalt besitzt das genannte Metall in hohem Grade die Fähigkeit, Gase zu verdichten und so ihre Verbindung zu veranlassen, und das Döbereiner'sche Feuerzeug, welches wohl jedem Leser dieser Zeilen bekannt sein dürfte, stellt eine sehr verbreitete praktische Anwendung dieser Erscheinung vor. Man läßt bei dieser Vorrichtung Wasserstoffgas auf lockeren Platinschwamm in die Luft treten. Dieser enthält bereits auf seiner Oberfläche verdichteten Sauerstoff. Sobald der Wasserstoff darauf strömt, findet sogleich direkte Wasserbildung statt, in Folge derselben natürlich auch Wärmeentwicklung, welche rasch das Erglühen des Platins und sofort die Entflammung des Wasserstoffs herbeiführt.

Platinschwamm und manche andere poröse Körper veranlassen aus dem eben erörterten Grunde auch andere Verbindungen, welche ohne ihre Vermittlung nicht stattfänden. So verbrennt bekanntlich der Schwefel an der Luft nur zu schwefliger Säure, welche, mag ihr noch so viel Sauerstoff weiter dargeboten werden, sich nicht höher oxydirt. Ist aber Platinschwamm gegenwärtig, so verwandelt sich die schweflige Säure in die höchste Oxydationsstufe des Schwefels: die Schwefelsäure. Man pflegt solche Wirkungen als sogenannte Contactwirkungen zu bezeichnen; ihr nächster Grund ist, wie erwähnt, die große Verdichtung der Gase auf der Oberfläche der starren Körper.

Wasser.

Welche ungeheure Quantität von Wasser sich in tropfbar flüssigem, dampfförmigem und starrem Zustande (als Eis) auf der Erde vorfindet, ist dem Leser erinnerlich. Es ergibt sich schon aus der Massenhaftigkeit dieses Vorkommens die großartige Bedeutung dieser Verbindung. Es gibt auch in der That keine andere, welche bei den natürlichen und künstlichen chemischen Prozessen in solchem Umfange und in so zahlreichen Fällen eine überaus wichtige Rolle übernähme, wie eben das Wasser, ganz abgesehen von den mannigfaltigen mechanischen Umänderungen, welche es durch seine Strömungen und den beständigen Kreislauf, worin es begriffen ist, hervorruft. Die Mehrzahl der Fälle, wo es sich um die Herbeiführung eines flüssigen, somit beweglichen Zustandes der Körper handelt, um sie irgend einer chemischen Umwandlung zuzuführen, wird durch das Wasser vermittelt, welches als das einfachste und zugänglichste Lösungsmittel für sehr viele Stoffe in unseren Laboratorien die vielfältigste Anwendung findet, deren Wichtigkeit noch weitaus überragt wird von der Bedeutung des Wassers in dieser Hinsicht für die chemischen Vorgänge in der Natur. Alles Leben wird durch Wasser vermittelt. Diese Flüssigkeit ist es, welche dem keimenden Samenkorn wie der kräftigsten Eiche unausgesetzt jene Stoffe in passender Lösung zuführt, aus deren Zersetzung und Umwandlung die organischen Gebilde hervorgehen. In dem Organismus der Pflanze und des Thiers ist es wieder das Wasser, welches die Bewegung der Stoffe im Innern und die chemische Einwirkung derselben auf einander in einer unabsehbaren Reihe von chemischen Umwandlungen ermöglicht, die ohne diese Flüssigkeit durchaus nicht stattfinden könnten. Betrachten wir die Einzelnheiten der uns bekannten chemischen Prozesse näher, so sehen wir auch hier in den überwiegend meisten Fällen das Wasser thätig. Es bildet und zerlegt sich mit der größten Leichtigkeit, ist trotz seiner scheinbaren Indifferenz im Stande, Körper, welche mit sehr großer Verwandtschaft ausgestattet sind,

Bedeutung des Wassers für die organische Welt.

Digitized by Google

in vielen Verbindungen zu vertreten, dabei aber anderen kräftigeren mit der größten Leichtigkeit zu weichen. Es giebt sehr leicht an verschiedene Stoffe seine Bestandtheile ab und bildet sich eben so leicht wieder zurück, wenn Körper, von denen einer Wasserstoff, der andere Sauerstoff enthält, in Wechselwirkung treten. Alle Verbindungen, in welchen wir Wasser chemisch gebunden annehmen müssen, nennt man Hydrate.

Krystallwasser.

Eine andere eigenthümliche Rolle übernimmt sehr häufig das Wasser bei Entstehung von Krystallen aus wässerigen Lösungen. Es wird hiebei von den krystallisirbaren Körpern nach constanten Gewichtsverhältnissen zu einem oder mehreren Atomen gebunden und mit beim Bau des Krystalles verwendet, weßhalb man es auch in diesem Falle Krystall- oder Krystallisationswasser nennt. Das Krystallwasser nimmt nicht etwa bei der Zusammensetzung des krystallisirbaren Körpers Antheil, es ist viel mehr mechanisch als chemisch gebunden und verdampft deßhalb sehr häufig leicht unter Zerfallen des Krystalls an der Luft, was man Verwittern der Krystalle nennt. Wir sehen in der Bindung von Krystallisationswasser eine Wirkung der Adhäsion, welche sich schon sehr jener der Affinität nähert, da die mechanische Anziehung sich schon durch die Gewichtsverhältnisse, welche die Verwandtschaft charakterisiren, der letzteren nähert. In den Formeln drückt man das Krystallwasser zum Unterschiede von dem Hydratwasser durch aq. aus.

Destillirtes Wasser.

Reines Wasser findet sich in der Natur nicht, läßt sich aber durch Destillation aus dem gewöhnlichen Quell- oder Flußwasser als destillirtes Wasser gewinnen. Soll es auch frei von Luft und Kohlensäure, die es absorbirt, erhalten werden, so muß es zuletzt in einem wohlverschließbaren Gefäße erwärmt und dann, unter Abschluß der Luft, abgekühlt werden. Das reine Wasser ist durchsichtig, geruch- und geschmacklos, siedet unter einem Luftdruck von 28 Zoll, bei 100^0, zeigt seine größte Dichte bei $+ 4^0$ und erstarrt bei 0^0 zu Eis.

Natürliche Wasser.

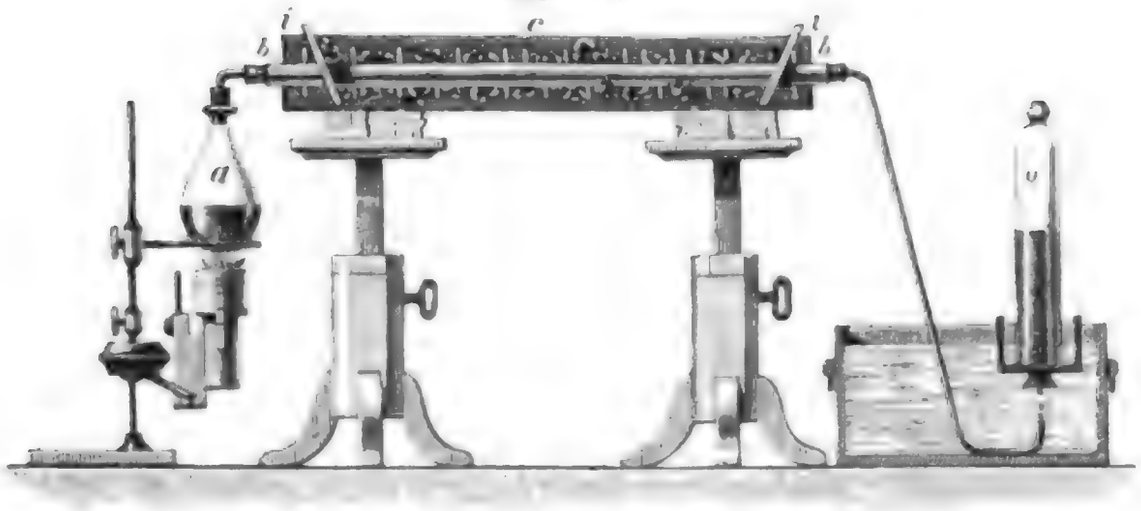
Das natürlich vorkommende Wasser zeigt nach den darin gelösten Substanzen verschiedene Eigenschaften. Besseres Quell- und Brunnenwasser verdankt seinen erfrischenden Geschmack der darin absorbirt vorhandenen Kohlensäure und gewissen zweifach kohlensauren Salzen. Ein größerer Gypsgehalt charakterisirt die sogenannten harten Wässer. Finden sich im Wasser reichlich Mineralbestandtheile gelöst, welche die Quellen auf ihrem Wege zur Erdoberfläche aufgenommen, so wird es Mineralwasser genannt; diejenigen Quellen, welche reichlich Kohlensäure enthalten, nennt man Säuerlinge. Bittersalz charakterisirt die Bitterwasser; wo viel Kochsalz sich gelöst findet, wird das Wasser Soole genannt, mit Ausnahme des Meerwassers, welches seinen salzigen Geschmack hauptsächlich dem Kochsalz und Chlormagnesium verdankt.

Darstellung des Wasserstoffs.

Auf der oben erwähnten Zerleglichkeit des Wassers beruhen auch die Darstellungsmethoden des Wasserstoffs, welcher z. B. bei der Electrolyse des Wassers sich am negativen Pol abscheidet und dort aufgesammelt werden kann. Manche Metalle entziehen dem Wasser unter Bildung von Oxyden den Sauerstoff, wobei natürlich der Wasserstoff frei wird. Bei einigen findet dieß schon in gewöhnlicher Temperatur statt; so braucht man nur ein Stückchen Natrium unter eine mit Wasser gefüllte Glocke zu bringen, um diese sich rasch mit Wasserstoff füllen zu sehen, während das Metall als Oxydhydrat sich im Wasser löst. Manche Metalle bedürfen, um diese Zersetzung zu veranlassen, einer höheren Temperatur, wie z. B. das Eisen, welches in der Glühhitze leicht Wasserdampf, den man darüber leitet, zerlegt und sich in

Digitized by Google

(Fig. 252.)



Eisenoxyduloxyd umwandelnd, den Wasserstoff abscheidet. Bringt man Fig. 252 in den Glühofen c eine mit Eisendraht oder kleinen Nägeln angefüllte schwer schmelzbare Glasröhre b, umgibt sie mit glühenden Kohlen, welche durch die Schirme i von den beiden Enden der Röhre getrennt sind, erhitzt hierauf das in dem Kolben a befindliche Wasser zum Sieden, so daß dessen Dampf durch die Röhre streichen muß, so sammelt sich in der Glocke o reines Wasserstoffgas. Am bequemsten, obwohl nicht völlig rein, da der Kohlegehalt der entsprechenden Metalle eine geringe Beimengung von Kohlenwasserstoffen veranlaßt, stellt man den Wasserstoff durch Zusammenbringen von verdünnter Schwefelsäure mit Zink oder Eisen in einer Gasentwicklungsflasche a dar. Das Schwefelsäurehydrat, in Berührung mit den genannten Metallen, vermittelt, daß der Sauerstoff des Hydratwassers an das Metall tritt, das Oxyd sich mit der Säure zu einem schwefelsauren Salz vereinigt, während der Wasserstoff gasförmig entweicht.

Wasserstoffsuperoxyd.

Außer dem wichtigsten Oxyde des Wasserstoffs, welches wir eben besprochen haben, kennt man noch zwei Superoxyde. Das Erste hat die Formel HO_2, entsteht in wässeriger Lösung, wenn Bariumsuperoxyd BaO_2 mit Säuren zusammengebracht wird, wobei die Hälfte des darin vorhandenen Sauerstoffs an Wasser tritt, während die Säure sich mit dem basischen Bariumoxyd BaO verbindet. Es bildet im reinen Zustande eine dickliche eigenthümlich riechende und schmeckende farblose Flüssigkeit, die sich in der Wärme und bei Berührung mit vielen Körpern sehr rasch, zuweilen unter Explosion in Wasser und ihr 470faches Volum Sauerstoff zerlegt. Das zweite Wasserstoffsuperoxyd HO_3 hat man als Begleiter des Sauerstoffs bei der Electrolyse des Wassers erkannt. Es wirkt gleich dem Ersten mächtig oxydirend.

Der Stickstoff.

Obwohl dieses Element lange nicht in so großen Massen auftritt, wie der Sauerstoff und Wasserstoff, hat es doch eine sehr wichtige Bedeutung, besonders da es an der Zusammensetzung vieler organischer Stoffe Antheil nimmt. Die Hauptmasse des Stickstoffs findet sich auf der Erde unverbunden als Gemengtheil der atmosphärischen Luft, die auch am bequemsten zur Darstellung des reinen Stickstoffs benutzt werden kann. Die Luft enthält neben Sauerstoff und Stickstoff auch etwas Kohlensäure. Man kann sie leicht davon befreien, wenn sie durch eine Röhre geleitet wird, die Kalk

Darstellung des Stickstoffs.

Digitized by G

oder Kali enthält, welche die Säure vollständig absorbiren. Es ist nun leicht, den Sauerstoff, der im Gegensatze zum Stickstoff mit so bedeutenden Affinitäten ausgestattet ist, zu entfernen. Man braucht die so gereinigte Luft nur über glühende Kupferspäne zu leiten oder in einer Glocke über Quecksilber mit Körpern, welche leicht Sauerstoff aufnehmen, zusammenzubringen, wie z. B. gallussaures Kali, Phosphor, feuchte Eisenspäne u. dergl., um den Sauerstoff fortzuschaffen und im Rückstande reines Stickgas zu erhalten. Dieses bildet ein permanentes Gas von 0,971 specifischem Gewicht, ist farb- und geruchlos, nicht brennbar, unterhält die Verbrennung auch nicht und erscheint chemisch höchst indifferent. Von Wasser wird es nur in sehr geringer Menge absorbirt. Direkte Verbindungen geht es nahezu gar nicht ein und dann immer nur sehr spärlich; mit Sauerstoff vereinigt sich der Stickstoff in fünf Verhältnissen zu Stickstoffoxydul NO, Stickstoffoxyd NO_2, salpetriger Säure NO_3, Untersalpetersäure NO_4 und Salpetersäure NO_5. Letztere ist jedenfalls die wichtigste Oxydationsstufe des Stickstoffs. Man findet Spuren derselben in Regenwassern bei Gewittern als Hydrat und kann dieses Vorkommen sich leicht erklären, da man beobachtet hat, daß feuchte Luft, wenn man sehr zahlreiche electrische Entladungen hindurchgehen läßt, dann kleine Mengen Salpetersäurehydrat enthält. Im Uebrigen entsteht die Salpetersäure aber nur, wenn unter günstigen Umständen Stickstoff im Entstehungsmomente mit Sauerstoff in Berührung kömmt, besonders in Gegenwart von kräftigern Basen, wie Kaliumoxyd, Kalk u. dergl. Die Salpetersäurebildung tritt namentlich bei der Fäulniß und Verwesung stickstoffhaltiger Substanzen, wie thierischer Abfälle u. dergl. ein, wo sich unter Vermittlung des Sauerstoffs der Luft salpetersaure Salze bilden, die dann sich aufhäufen und, passend gesammelt und gereinigt, uns das Material bieten, um die Salpetersäure zu bereiten; denn wir kennen keinen Prozeß, der es uns möglich machte, in bequemerer und ausgiebigerer Weise Salpetersäure darzustellen. Man kennt die wasserfreie Salpetersäure als eine flüchtige, farblose, krystallisirte, sehr leicht zerlegliche explodirbare Substanz. Mit Wasser vereinigt sich die Säure in constanten Verhältnissen zu Hydraten. Das erste Hydrat NO_5,HO bildet eine farblose bewegliche Flüssigkeit, deren specifisches Gewicht 1,54 beträgt. Seine Verwandtschaft zu Wasser ist noch so groß, daß es beim Verdunsten an der Luft aus dieser Wasser aufnimmt, so einen minder flüchtigen Körper bildet und dadurch die Erscheinung eines Rauches oder Nebels hervorbringt, indem nun die Dunstbläschen in der Luft sichtbar schweben; ein Verhalten, welches übrigens die Salpetersäure mit vielen anderen Körpern von ähnlicher Beschaffenheit theilt. Bei 86° beginnt dieses Hydrat zu sieden, verflüchtigt sich aber nur theilweise unzersetzt, indem es durch Wärme in Sauerstoff, Untersalpetersäure und Wasser zerfällt, welches letztere von einem anderen Antheil der Säure gebunden wird. Die Untersalpetersäure ertheilt dem Hydrat eine gelbe Färbung, diese beobachtet man auch, wenn die Säure dem Lichte ausgesetzt bleibt, da auch dieses eine ähnliche Wirkung wie die Wärme ausübt und eine theilweise Zerlegung der Salpetersäure veranlaßt. Die Dämpfe derselben haben einen höchst erstickenden sauren Geruch und wirken sehr schädlich auf die Respirationsorgane. Organische Stoffe werden davon meistens rasch zerstört, die Säure wirkt deßhalb ungemein ätzend und ruft auf der Haut leicht gefährliche Wunden hervor. Mit Wasser reichlich verdünnt, bildet sie eine farblose, stark sauer schmeckende Flüssigkeit. Mengt man sie mit 3 Atomen Wasser, so verbindet

Oxydationsstufen des Stickstoffs.

Salpetersäure.

Wasserfreie Salpetersäure.

Hydrate der Salpetersäure.

Digitized by Google

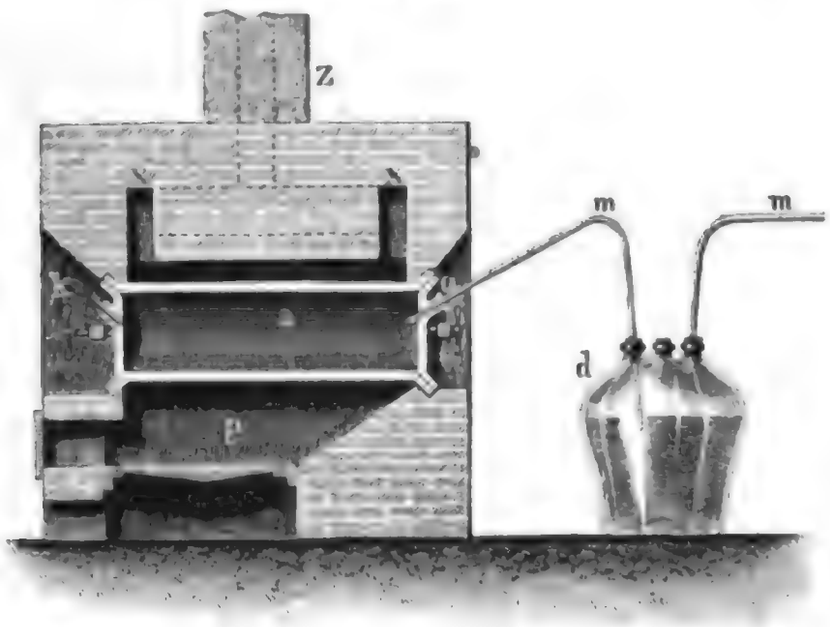
sie sich mit demselben zu dem zweiten Hydrat $NO_5, 4HO$ einer farblosen Flüssigkeit, die bei 123° siedet, ein specifisches Gewicht von 1,42 hat und an der Luft nicht raucht, sonst aber die Beschaffenheit des ersten Hydrats zeigt.

Darstellung und Fabrikation der Salpetersäure.

Beide Hydrate, sowie in vielen Fällen mit Wasser verdünnte Salpetersäure, wirken auf viele Körper kräftig oxydirend, wobei nach Umständen eine oder die andere der niedrigeren Oxydationsstufen auftreten und häufig unverbundener Stickstoff frei wird. Dieses Verhalten bedingt auch die vielseitige Anwendung der Salpetersäure, welche stets durch Zersetzung von salpetersaurem Kaliumoxyd oder Natriumoxyd mit Schwefelsäurehydrat und Erwärmen in einer Retorte dargestellt wird. Die Verwandtschaft der Schwefelsäure zu den beiden Basen ist größer als die der Salpetersäure, so daß die Schwefelsäure an das Kalium- oder Natriumoxyd tritt, während das Hydratwasser sich mit der Salpetersäure vereinigt und mit derselben sich als Hydrat verflüchtigt. Um diese Zerlegung bei einer möglichst niedrigen Temperatur veranlassen zu können, ist es jedoch nöthig, damit die theilweise Zerlegung in Sauerstoff und Untersalpetersäure thunlichst vermieden werde, 2 Atome Schwefelsäure auf 1 Atom des salpetersauren Salzes zu nehmen, wo sich dann zweifach schwefelsaures Salz bildet, welches nach vollständiger Verflüchtigung der Salpetersäure als Rückstand in der Retorte bleibt. Will man verdünntere Säuren erzeugen, so setzt man die entsprechende Menge Wasser gleich Anfangs zu und es destillirt dann ein Gemenge der beiden Hydrate über. Ein solches, beiläufig von einem specifischen Gewicht von 1,5, wird gewöhnlich auch im Großen unter dem Namen Scheidewasser in den chemischen Fabriken erzeugt. Man bedient sich aber da nicht gläserner Retorten, sondern gußeiserner Cylinder, welche mehrere Centner des Gemenges aufnehmen. Die Cylinder a Fig. 253 sind in einem Ofen gewöhnlich paarweise so eingemauert, daß die auf dem Roste des Feuerraums aufgelegten Brennstoffe ihre Flamme um den Cylinder spielen lassen können, wonach die Verbrennungsgase durch die Züge x in die Esse z gleiten. Der vordere Theil des Cylinders ist mit dem Deckel i versehen, welcher das aufwärts gebogene kurze Rohr o enthält, das seinerseits das gebogene Glasrohr aufnimmt, durch welches die Dämpfe der Salpetersäure entweichen. Der zweite Deckel c gestattet, nachdem der Cylinder vorerst mit dem Salz gefüllt und verschlossen wurde, durch das Rohr k die nöthige Schwefelsäure hineinfließen zu lassen, wonach man durch allmäliges Erhitzen die Zersetzung und Destillation veranlaßt. Die Einrichtung der Vorlagen, wo sich die Salpetersäure ansammelt, macht die Zeichnung ersichtlich. Es

Scheidewasser.

(Fig. 253.)



Digitized by Google

sind dreihälsige Flaschen aus Glas oder Steinzeug, in welche das Rohr m und das Rohr n eingekittet werden. Der mittlere Hals dient nöthigenfalls zum Einfüllen von Wasser oder Entleeren der Flasche, zu welchem Behufe man jedoch gewöhnlich einen Abflußhahn am Boden derselben anbringt. Was sich nicht in d condensirt, gelangt durch n in eine zweite ähnliche Flasche von gleicher Einrichtung, von da etwa in eine dritte u. s. w. Man verwendet die Salpetersäure hauptsächlich als Oxydationsmittel von Metallen, wobei die Mehrzahl derselben nicht nur Sauerstoff aufnimmt, sondern das gebildete Oxyd sich mit dem unzersetzten Antheile der Säure zu einem löslichen salpetersauren Salz vereinigt.

Stickstoffoxyd. Bringt man Kupfer mit verdünnter Salpetersäure zusammen, so giebt diese an das Metall 3 Atome Sauerstoff ab, während sich Stickoxydgas entwickelt, das über Wasser aufgefangen werden kann ($3\,Cu + 4\,[NO_5, HO] = NO_2 + 3\,[CuO, NO_5] + 4\,HO$). Das Stickstoffoxyd stellt ein farbloses, nicht brennbares permanentes Gas von 1,039 specifischem Gewicht dar. Lebhaft brennende Körper brennen darin unter namhafter Lichtentwicklung fort, während der Stickstoff abgeschieden wird. Wasser absorbirt nur $^1/_{20}$ seines Volums davon. Eingeathmet führt es Erstickung herbei; wird es an die Luft gebracht, so verwandelt es sich augenblicklich in Untersalpetersäure, welche rothbraune Dämpfe bildet, indem 2 Atome Sauerstoff zu der Verbindung

Untersalpetersäure. treten: $NO_2 + 2O = NO_4$. Die Untersalpetersäure entsteht auch, wenn Salpetersäurehydrat mit Zucker und ähnlichen organischen Stoffen erwärmt wird; ebenso beim Einleiten von Stickoxyd in Salpetersäurehydrat ($2\,NO_5 + NO_2 = 3\,NO_4$). Sie ist ein sehr flüchtiger Körper. Bei etwa -20^0 erhält man sie als eine farblose krystallinische Masse, welche bei 9^0 schmilzt und bei weiterem Erwärmen sich immer dunkler rothbraun färbend, bei 23^0 endlich siedet und sich in die erwähnten rothbraunen Dämpfe verwandelt, welche einen erstickenden Geruch haben und die Respirationsorgane heftig angreifen. Salpetersäure absorbirt die Untersalpetersäure sehr reichlich und bildet damit eine rothe Flüssigkeit, welche an der Luft Dämpfe der Untersalpetersäure ausstößt (rothe rauchende Salpetersäure). Die Oxydationsstufen des Stickstoffs charakterisiren sich durch ihre große Zerleglichkeit. Bringt man Untersalpetersäure mit Wasser zusammen, welches von ihr chemisch nicht gebunden wird, so entsteht ein Gemenge von Salpetersäure und salpetriger Säure ($2\,NO_4 = NO_5 + NO_3$), von welchem bei gelindem Erwärmen die Letztere abdestillirt werden kann. In der Vorlage sammelt sich dann die

Salpetrige Säure. salpetrige Säure als eine tief indigoblaue bewegliche Flüssigkeit, deren Siedepunkt bei -10^0 liegt. Setzt man ihr Wasser zu, so zerfällt sie wieder in Salpetersäurehydrat und Stickoxyd: $3\,NO_3 + HO = NO_5, HO + 2\,NO_2$.

Daraus läßt sich entnehmen, wie auch die Erfahrung bestätigt, daß, wenn man der Untersalpetersäure sogleich reichlich Wasser zusetzt, die Existenz der salpetrigen Säure nur eine ganz vorübergehende ist und als Endresultat der Umsetzung bloß Salpetersäure und Stickoxyd zum Vorschein kommen.

Stickstoffoxydul. Es erübrigt noch, einige Worte über das Stickstoffoxydul zu sagen, welches sich, gemengt mit Stickstoff, gasförmig entwickelt, falls man sehr verdünnte Salpetersäure mit Zink zusammenbringt. Rein läßt sich diese Verbindung erhalten durch Erhitzen von salpetersaurem Ammoniumoxyd. Dieses Salz enthält als Base eine Verbindung von Stickstoff, Wasserstoff und Sauerstoff, welche wir später näher zu besprechen haben werden. Beim Erhitzen dieses Salzes schmilzt es zunächst und zerlegt sich hierauf in Wasser und Stickoxydul:

Digitized by Google

$NH_3O,NO_5 = 2NO + 4HO$. Das Stickstoffoxydul zeigt weder Geruch noch Geschmack, hat ein spec. Gew. von 1,527, unterhält die Verbrennung sehr lebhaft, nahezu wie Sauerstoff, läßt sich einathmen, ruft aber je nach den Individuen entweder eine rauschähnliche Heiterkeit oder sehr bedeutende Aufregung hervor, die man bis zu Raserei sich steigern sah; es wurde früher Lustgas genannt; bei längerem Einathmen wirkt es tödtlich. Wasser absorbirt 36 Volumprocente desselben. Durch einen Druck von 30 Atmosphären läßt es sich bei 0^0 zu einer farblosen beweglichen Flüssigkeit verdichten, welche, an die Luft gebracht, rasch verdampft und dabei so reichlich Wärme bindet, daß ein Theil derselben zu einer weißen schneeartigen Masse erstarrt.

Der Kohlenstoff.

Kohlenstoff findet sich natürlich unverbunden als Diamant und Graphit, mit Sauerstoff vereinigt als Kohlensäure für sich und häufig in Gestalt von kohlensauren Salzen, von denen einige massenhaft auftreten. In den Mineralkohlen bildet der Kohlenstoff den Hauptbestandtheil, sowie in den so zahlreichen Verbindungen, welche durch die Lebensprozesse der Thiere und Pflanzen entstehen oder aus weiteren künstlichen Metamorphosen derselben hervorgehen.

Diamant, Graphit und Kohle.

Wir sagten eben, daß der Kohlenstoff als Diamant und Graphit vorkommt. Ersterer, als der kostbarste Schmuckstein bekannt, ist der härteste Körper, der bis jetzt aufgefunden wurde. Sein specifisches Gewicht beträgt 3,5. Der rohe Diamant erscheint rauh und wenig durchsichtig. Im geschliffenen Zustande zeichnet er sich durch seinen Glanz und hohes Lichtbrechungsvermögen aus. Man benützt, seiner Härte wegen, Splitter desselben zum Glasschneiden; er leitet die Electricität nicht. Wie groß ist der Unterschied, welchen wir zwischen diesem Körper und dem Graphit wahrnehmen. Letzterer, in Krystallen des drei- und einaxigen Systems auftretend, ist dunkel-stahlgrau, völlig undurchsichtig, weich, abfärbend, leitet die Electricität und kann auch künstlich hervorgebracht werden (s. unten beim Hohofenprozeß). Man benützt ihn zur Anfertigung der Bleistifte und feuerfesten Schmelztiegel. Trotz dieser durchgreifenden Verschiedenheit sind beide Körper, chemisch genommen identisch, nämlich Kohlenstoff. Wir können uns über die Ursache dieser Verschiedenheit vorläufig noch nicht Rechenschaft geben; denn wenn wir auch von einer verschiedenen Anordnung der Moleküle und dergl. sprechen, so haben wir damit wohl noch keineswegs erklärt, warum die Kohlenstofftheilchen eben im Diamant anders geordnet sind, als im Graphit. Derlei Modifikationen von Elementen kommen gerade nicht selten vor, wir nennen sie allotropische Modifikationen und haben bereits im Ozon eine solche des Sauerstoffs kennen gelernt. Wird der Diamant bei Abschluß der Luft sehr stark erhitzt, so bläht er sich auf, wird weich, abfärbend, grauschwarz und in Graphit verwandelt. Wir können noch eine dritte Modifikation des Kohlenstoffs annehmen, welche durch heftiges Glühen von Kienruß bei Abschluß der Luft erhalten wird, wobei fremde, der Kohle anhängende, Substanzen sich verflüchtigen und nahezu reiner Kohlenstoff, als ein weiches, abfärbendes, dunkelschwarzes Pulver zurückbleibt, dessen spec. Gewicht beiläufig 1,7 ausmacht, während das des Graphits 2,2 beträgt. Alle diese Modifikationen des Kohlenstoffs sind nicht flüchtig und unschmelzbar, Nur bei einer außerordentlichen Hitze, welche man durch Anwendung eines electrischen Stromes hervorbrachte, zu dessen Erregung 500 Bunsen'sche Elemente dienten, will man ein Weichwerden und sogar eine Verflüchtigung

Allotropie.

Digitized by Google

des Kohlenstoffs beobachtet haben. Die Verwandtschaft des Kohlenstoffs zum Sauerstoff ist bei gewöhnlicher Temperatur sehr gering, bei großer Hitze aber höchst bedeutend. Diamant, Graphit und Kohle verbrennen an der Luft und im Sauerstoff, wenn diese im Ueberschuß vorhanden sind, zu Kohlensäure, CO_2, der höchsten Oxydationsstufe des Kohlenstoffs. Diese findet sich in der Luft, im Wasser gelöst, an Basen gebunden in mehreren wichtigen Mineralien, und strömt an manchen Orten reichlich aus Erdspalten gasförmig hervor (Hundsgrotte). Man kann sie leicht künstlich aus kohlensauren Salzen durch stärkere Säuren, wie Schwefel- oder Salzsäure, abscheiden, welche sie verdrängen. Am bequemsten dient kohlensaurer Kalk, (Kreide, Marmor), den man in gröberen Stücken in der Gasentwicklungsflasche (S. 418) mit mäßig verdünnter Salzsäure übergießt. Die Kohlensäure entweicht als ein farbloses Gas von 1,529 spec. Gew., sie hat einen säuerlichen prickelnden Geruch und Geschmack, wird vom Wasser unter gewöhnlichem Luftdrucke annähernd zu gleichen Raumtheilen absorbirt, und läßt sich bei einem Drucke von 36 Atmosphären und 0^0 zu einer beweglichen farblosen Flüssigkeit verdichten und auch beim Verdampfen derselben durch Bindung der latenten Wärme als eine schneeartige Masse erhalten. Die Kohlensäure unterhält die Verbrennung nicht und ist irrespirabel, ohne aber, wenn sie in geringer Menge der Luft beigemischt ist, direkt zu schaden. Sie gehört unter die schwächsten bekannten Säuren, röthet das blaue Lackmuspigment nur vorübergehend, ersetzt aber durch ihre Verbreitung und stetige Wirkung sehr häufig andere kräftige Agentien, so daß ihr bei den auf der Erdoberfläche beobachteten Umwandlungen eine sehr große Rolle zufällt. Sie gehört überhaupt zu den wichtigsten Verbindungen, welche wir kennen, indem sie allen organischen Körpern den Kohlenstoff liefert, wie wir unten noch näher besprechen wollen. Mit den meisten Basen liefert sie Salze, deren überwiegende Mehrzahl im Wasser unlöslich ist. Gleich dem Wasser kann sie auf höchst mannigfaltige Weise entstehen, doch zerlegt sie sich lange nicht so leicht wie dieses.

Kohlensäure.

Kohlenoxyd.

Bringt man Sauerstoff mit einem Ueberschusse von glühendem Kohlenstoff in Berührung, so entsteht nicht Kohlensäure, sondern Kohlenoxyd, CO, ein permanentes Gas, welches ebenfalls in sehr verschiedener Weise hervorgebracht werden kann, welches wohl bei den natürlichen chemischen Prozessen keine wichtige Rolle spielt, dagegen bei technisch-chemischen Vorgängen, die von der Vermittlung der Brennstoffe abhängen, sehr häufig in entscheidender Weise eingreift. Leitet man Kohlensäure über lebhaft glühende Kohle, so nimmt sie noch Kohlenstoff auf und geht in Kohlenoxydgas über: $CO_2 + C = 2\,CO$.

Das Gas hat ein specifisches Gewicht von 0,967, ist farb- und geruchlos und wirkt giftig. Die durch sogenannten Kohlendampf hervorgerufenen Todesfälle sind Folge des in den verschlossenen Räumen, bei unvollständiger Verbrennung der Kohle, sich in namhafter Menge bildenden Kohlenoxyds. An der Luft verbrennt es mit schönblauer Flamme zu Kohlensäure. Vielen Metalloxyden entzieht es in stärkerer Hitze den Sauerstoff und wirkt daher reducirend, gleich der glühende Kohle, auf dieselben, was bei vielen metallurgischen Prozessen von sehr großer Bedeutung ist.

Kohlenwasserstoffe.

Kohlenwasserstoffe nennt man Verbindungen des Kohlenstoffs mit Wasserstoff. Unmittelbar lassen sich diese beiden Elemente nicht vereinigen; im Entstehungsmomente gehen sie aber leicht Verbindungen ein. So erhält man, wenn kohlenstoffhaltiges Eisen, behufs der Darstellung von Wasserstoff, mit verdünnter Schwefelsäure behandelt wird, ein Produkt, welches ziemlich

Digitized by Google

reichlich flüchtige Verbindungen des Kohlenstoffs mit Wasserstoff enthält, deren Beschaffenheit und Zusammensetzung aber bis jetzt nicht hinreichend genau ausgemittelt ist. Dagegen kennt man eine verhältnißmäßig sehr große Anzahl von Kohlenwasserstoffen, welche sich bei fortschreitender Wissenschaft immer noch vermehrt, die ihren Ursprung der künstlichen Zerlegung organischer Stoffe verdanken oder in sehr vielen Fällen sich bei den chemischen Lebensprozessen der Thiere und Pflanzen ursprünglich bilden. Die Umstände, unter welchen sie entstehen, sind sehr mannigfaltig, besonders reichlich bilden sich die Kohlenwasserstoffe bei der trocknen Destillation complexer zusammengesetzter organischer Substanzen, wie Holz, Steinkohlen, Fette und dergl. Unter trockner Destillation verstehen wir das Erhitzen eines nicht flüchtigen organischen Körpers bei Abschluß der Luft, so daß nur die Wärme auf die Substanzen zu wirken vermag. Bei den höher zusammengesetzten organischen Stoffen tritt hier eine durchgreifende Umwandlung ein, indem durch die Wärme die Affinitätsverhältnisse wesentlich abgeändert und somit die Kohlenstoff-, Wasserstoff-, Sauerstoff- und etwa Stickstoffatome, welche sich zu einer höher zusammengesetzten Gruppe vereinigt hatten, veränderten Anziehungen folgend, eine große Anzahl neuer Verbindungen bilden, und zwar solcher, welche bei der gegebenen Temperatur flüchtig sind und dampfförmig entweichen. Wir müssen gestehen, daß uns bis jetzt keineswegs die Gesammtheit der bei der trocknen Destillation auftretenden Produkte genau bekannt ist, und der Leser wird dieß erklärlich finden, wenn wir hervorheben, wie durch die Hitze ein wahres Gewirre von neuen Stoffen hervorgebracht wird, von denen viele durch ihre Aehnlichkeit oder den Mangel an charakteristischen Eigenschaften ein zuweilen unübersteigliches Hinderniß darbieten, sie von den anderen Substanzen zu trennen und in ihrem reinen Zustande zu prüfen. Doch ist die Zahl der hierher gehörigen, genau gekannten Stoffe schon sehr groß und wir können uns daraus auch ein annähernd richtiges Bild schaffen über die Rolle, welche jeder einzelne Elementarbestandtheil der organischen Substanzen dabei übernimmt. Hier ist hauptsächlich von Holz und anderen schon erwähnten Körpern die Rede, welche als Brenn- oder Leuchtstoffe die vielseitigste Anwendung finden und uns deshalb auch vorzüglich interessiren. Bringen wir einen solchen Körper im trockenen Zustande in eine Retorte, die mit einer gekühlten Vorlage versehen ist, aus welcher ein Gasleitungsrohr die gasförmigen Produkte unter die Glocke einer pneumatischen Wanne führt, und erhitzen wir das Destillationsgefäß allmälig bis zum Glühen, so sehen wir gleichzeitig Dämpfe aus der Retorte entweichen, die sich in der Vorlage condensiren, während namentlich in der ersten Periode der Operation sich reichlich Gase entwickeln. Nach einiger Zeit wird auch die Bildung der flüchtigen Produkte immer schwächer und hört endlich gänzlich auf, wornach der Vorgang beendigt ist. Die Gase nun, welche wir in der Glocke aufgesammelt haben, sind Kohlensäure, Kohlenoxyd, Kohlenwasserstoffe, unter diesen Grubengas und ölbildendes Gas, Stickstoff, Wasserstoff und etwas Ammoniak. Wir sehen daraus, daß sich ein Theil des Kohlenstoffs zu den einfachsten Sauerstoffverbindungen, die er zu liefern vermag, vereinigt, während ein anderer Antheil mit Wasserstoff binäre Verbindungen bildet, daß ferner eine gewisse Menge des Stickstoffs, im Momente der Abscheidung, sich mit Wasserstoff zu Ammoniak verbunden, während diese Elemente auch im ungebundenen Zustande abgeschieden wurden. Wir werden weiter unten eine nähere Beschreibung des Gruben- und ölbildenden Gases geben und wenden

Trockne Destillation.

Destillationsgase.

Digitized by Google

uns zu den in der Vorlage angesammelten Produkten. Hier beobachtet man zwei Flüssigkeiten, ein bräunlich gefärbtes, übelriechendes, gewöhnlich sauer, bei stickstoffreichern Körpern aber basisch reagirendes Wasser, auf welchem eine halbflüssige, sehr intensiv riechende, dunkelbraune Masse, der Theer schwimmt. In dem Theerwasser findet sich häufig Essigsäure, daneben aber noch eine große Anzahl anderer Substanzen, worunter auch stets Ammoniakverbindungen. Wir können an dieser Stelle eine nähere Beschreibung derselben noch nicht geben, dieß gilt auch von den Bestandtheilen des Theers, welche ungemein zahlreich sind; doch mag die Bemerkung hier Platz finden, daß im Theer reichlich Kohlenwasserstoffe von verschiedener Zusammensetzung, auch viele Verbindungen, welche Kohlenstoff, Wasserstoff und Stickstoff enthalten, auftreten. Zur Bildung aller dieser Stoffe dienten die ursprünglich viel einfacher angeordneten Atome der Elementarbestandtheile des destillirten Körpers. Das Auftreten einer merklichen Quantität Wasser zeigt uns, wie ein großer Antheil des Sauerstoffs zur Bildung desselben verwendet werden mußte, und wenn wir uns erinnern, daß sich auch reichlich Kohlensäure und Kohlenoxyd entwickeln, so wird uns die Entstehung von erheblichen Quantitäten der verschiedenen Kohlenwasserstoffe nicht befremden. Sehen wir nach, ob bei der trocknen Destillation die Gesammtmenge der destillirten Körper sich verflüchtigt habe, so bemerken wir, daß dies nie der Fall ist. Stets findet man im Rückstande einen bedeutenden Antheil des Kohlenstoffes, in Gestalt von Kohle, deren Beschaffenheit durch die Natur des destillirten Körpers und durch den dabei angewendeten Hitzegrad namhaft modificirt werden kann. Es bleibt somit immer ein merklicher Antheil Kohlenstoff zurück, welcher sich der Einwirkung der übrigen Destillationsprodukte entzogen und an der Bildung derselben keinen Antheil genommen.

Theer und Theerwasser.

Kohle.

Ganz ähnliche Vorgänge lassen sich auch beobachten, wenn organische Substanzen in größeren Massen einer wenigstens Anfangs unvollkommenen Verbrennung zugeführt werden, wie dieß z. B. bei der Anwendung unverkohlter Brennmaterialien für unsere gewöhnlichen Feuerungen stattfindet. Denken wir uns auf einem Roste, welcher bekanntlich als Unterlage für den Brennstoff dienen und gleichzeitig den Luftzutritt zu demselben gestatten soll, eine gewisse Menge Holz aufgelegt, welches wir eben angezündet haben, so wird allerdings zunächst ein kleiner Theil desselben eine vollständige Verbrennung erleiden, deren Produkte Wasser, Kohlensäure und unverbundener Stickstoff sind. Die darüber gelagerten Holztheile müssen dadurch natürlich erwärmt werden, doch kann dies nur allmälig geschehen, und bevor die Temperatur so weit gesteigert ist, daß alle sich entwickelnden Substanzen der Verbrennung anheimfallen können, haben sich gerade wie in der Retorte Destillationsgase, Dämpfe von Theer und Theerwasser gebildet, welche entweichen, sich in einiger Entfernung von dem Feuerraume theilweise condensiren und so die bekannte Erscheinung des Rauches hervorbringen. Endlich hat durch den nachdringenden Sauerstoff die Verbrennung in den unteren Schichten sich so gesteigert, daß die Destillationsgase und Dämpfe heiß genug entweichen, um sich ihrerseits entzünden zu können, und von diesem Augenblicke an bemerken wir die Flamme, welche so lange andauert, als überhaupt noch Destillation stattfindet, bis endlich blos die Kohle zurückbleibt, die ihrerseits ohne Flamme verbrennt. Es ist klar, daß sich dieser Vorgang bei jedem neuerlichen Auflegen von frischem Brennstoff wiederholen muß, und längere oder kürzere Zeit andauert, bis endlich die Verkohlung wieder voll-

Vorgänge bei Anwendung von Brennstoffen.

Digitized by Google

kommen eingetreten ist. Haben wir uns aber in irgend einer Weise früher bereits aus dem Brennstoff die Kohle hergestellt, so können wir bei Verbrennung derselben eine viel höhere Temperatur erzielen, als bei der Anwendung von unverkohltem Material, wenn wir die Wirksamkeit seiner Flamme, wie das bei vielen Feuerungen der Fall ist, nicht höher anschlagen, als die ohne selbe erzielte stärkere Hitze. Die Ursache dieses Unterschiedes liegt in dem Umstande, daß bei der Destillation sich flüchtige Produkte bilden, welche, um sich in Dampf- oder Gasgestalt zu erhalten, eine namhafte Menge der durch die Verbrennung frei gewordenen Wärme wieder latent machen, und somit also, da bei Benutzung der Brennstoffe es sich darum handelt, irgend einen Körper, wie zu schmelzende oder zu verflüchtigende Substanzen, die Wand eines Ofens und dergl., entsprechend zu erhitzen, diesen ein namhaftes Wärmequantum entzogen wird.

Nachdem wir nun im Vorhergehenden ein allgemeines Bild der bei der Verbrennung organischer Stoffe stattfindenden Vorgänge gegeben, wenden wir uns zur Beschreibung der beiden oben erwähnten Kohlenwasserstoffe zurück, von denen wir bereits wissen, daß sie bei der trocknen Destillation auftreten.

Grubengas.

Das Grubengas findet sich nicht selten in Steinkohlenbauen. Es scheint dort durch den, die Bildung der Steinkohlen bedingenden, Verwesungs- und Fäulnißprozeß entstanden und bei dem mächtigen Druck, der auf der Kohle lastet, in Höhlungen comprimirt, nach zufälligem Oeffnen derselben reichlich in die Gruben auszuströmen. Da es mit Luft gemengt heftig explodirt und eben in diesem Zustande in den Gruben oft genug angetroffen wird, so veranlaßt es nicht selten, falls man, statt mit Sicherheitslampen, mit offenen Grubenlichtern den Bau betritt, die so beklagenswerthen Unglücksfälle, von denen wir von Zeit zu Zeit, namentlich aus den englischen und belgischen Steinkohlengruben, Nachricht erhalten. Man beobachtet es auch häufig im Gemenge mit Stickstoff und Kohlensäure, vom Boden stehender Wässer aufsteigend, wo sich faulende organische Stoffe, Pflanzen und dergl. finden, deren Zersetzung eben zu seiner Bildung Veranlassung giebt, weshalb es auch den Namen Sumpfluft erhalten hat. Künstlich läßt sich das Gas, dessen Formel C_2H_4 ist, durch Erwärmen von Bariumoxydhydrat mit essigsaurem Natron erhalten. Der Kohlenstoff der Essigsäure wird dabei zur Hälfte zur Bildung von Kohlensäure verwendet, wozu gleichzeitig der Sauerstoff der Essigsäure und des Hydratwassers dient. Der Wasserstoff beider vereinigt sich mit der zweiten Hälfte des Kohlenstoffes zu Grubengas: $C_4H_3O_3$, $NaO + BaO$, $HO = NaO$, $CO_2 + BaO$, $CO_2 + C_2H_4$. Das Gas ist farblos, verbrennt mit blaßblauer Farbe, explodirt mit Sauerstoff gemengt und angezündet, hat keinen Geruch und ein specifisches Gewicht von 0,559.

Oelbildendes Gas.

Das ölbildende Gas hat diesen Namen erhalten, weil es sich mit Chlor unmittelbar zu einer ölartigen Flüssigkeit vereinigt. Am reinsten erhält man es beim Erwärmen von einem Theil Weingeist mit vier Theilen concentrirter Schwefelsäure. Der Weingeist, dessen Zusammensetzung folgende Formel versinnlicht: $C_4H_6O_2$, zerfällt dabei in zwei Atome Wasser und in ein Atom ölbildendes Gas: $C_4H_6O_2 = C_4H_4 + 2HO$. Da sich dabei auch etwas von sauren Produkten bildet, muß man das Gas zu seiner völligen Reinigung mit Kalk oder Kali in Berührung bringen. Es ist dann farblos, coërcibel, von unangenehmem Geruch, einem specifischen Gewicht von 0,909, giftig und verbrennt im Gegensatze zum Grubengas mit hellleuchtender Flamme. Leitet man es durch ein starkglühendes Rohr, so zersetzt es sich

Digitized by Google

in freien Kohlenstoff und Grubengas: $C_3H_3 = C_2 + C_2H_3$. Diese Erscheinung erklärt uns auch die hohe Leuchtkraft des ölbildenden Gases, welches einen Hauptbestandtheil des in den Gasanstalten erzeugten Leuchtgases ausmacht. Läßt man nämlich das Gas aus einer Mündung ausströmen und zündet es hierauf an, so ist bei der Verbrennung desselben eine Reihe von Umwandlungen zu beobachten; weil in der, durch das beständig nachströmende Gas gebildeten Flamme, in welche fortwährend von außen der Sauerstoff eindringt, an verschiedenen Stellen auch eine verschiedene Temperatur herrscht. Dort, wo das Gas in den Flammenkegel tritt, hat es noch nicht die zur Verbrennung nöthige Temperatur, auch gelangt der Sauerstoff nicht bis dahin. Das Gas, von dem Nachströmenden nach Außen gedrängt, gelangt in die Nähe der äußeren Hülle der Flamme, wo der Sauerstoff ungehindert Zutritt findet und durch die Verbrennung eine sehr starke Hitze erzeugt. Diese veranlaßt aber die oben erwähnte Zerlegung in Kohlenstoff und Grubengas. Der Kohlenstoff bildet sehr feine, in der Flamme schwebende Theilchen, die durch die Verbrennungstemperatur in die lebhafteste Weißgluth gerathen und deßhalb glänzend leuchten. Von dem nachrückenden Gase in die äußere Hülle getrieben, verbrennen die Kohlenstofftheilchen mit dem Grubengase mit geringem Lichte, liefern aber dabei die nöthige Hitze, um die neuerdings abgeschiedenen Kohlenstofftheilchen des nachrückenden Gases zum Weißglühen zu bringen.

Leuchtgas.

Unter den Produkten der trocknen Destillation finden sich noch mehrere andere Kohlenwasserstoffe, welche, obgleich condensirbar und dann flüssig, dennoch als Dampf sich den Destillationsgasen beimengen, und bei ihrer Verbrennung aus denselben Gründen, wie das ölbildende Gas, d. h. wegen vorhergehender Abscheidung von Kohlenstoff, ebenfalls lebhaft leuchten.

Auf ihrem Vorhandensein, wie dem des ölbildenden Gases, beruht die Anwendung des Leuchtgases, welches bekanntlich in eigenen Fabriken dargestellt und aus großen Behältern, den Gasometern, worin man es sammelt und vorräthig hält, unter einem bestimmten Druck durch gußeiserne Röhren bis zu den mit den Brennern versehenen und durch Hähne beliebig verschließbaren Ausströmungsöffnungen geleitet wird. Als Material zur Darstellung des Leuchtgases dient in der Regel die Steinkohle, welche bei der Destillation eine feste schwere Kohle, Kokks, hinterläßt, die als Brennstoff gut verwerthbar ist. Man nimmt die Destillation in eisernen oder thönernen, röhrenförmigen Retorten vor, welche zu 5 — 7 in einem gemeinschaftlichen Ofen beheitzt werden. Die flüchtigen Produkte leitet man durch aufwärts gestellte Röhren aus Eisen weiter, führt sie dann wieder nach abwärts, und veranlaßt so, daß Theer und Theerwasser, welche sich schon dort zum größeren Theile condensirt haben, in ein größeres Gefäß abfließen, während das Gas weiter durch ein System von Röhren schreitet, wo es sich abkühlt und eine vollkommenere Condensation des Theers und Wassers erfolgt. Da die Kohle immer Schwefel enthält, findet sich dem Gasgemenge schweflige Säure sowie auch Schwefelwasserstoff beigemischt, endlich stets eine namhafte Menge von Kohlensäure, welche die Leuchtkraft des Gases im hohen Grade beeinträchtigen. Diese Beimengungen müssen vor der Verwendung beseitigt werden, was in den Gasreinigern geschieht. Diese bestehen in der Regel aus Kästen, in welchen auf Weidengeflechte gelöschter Kalk in mehreren Schichten eingesetzt ist. Dieser absorbirt den Schwefelwasserstoff und die Säuren und hierauf wird das Gas erst in das Gasometer geführt. Durchschnittlich enthält das Leucht-

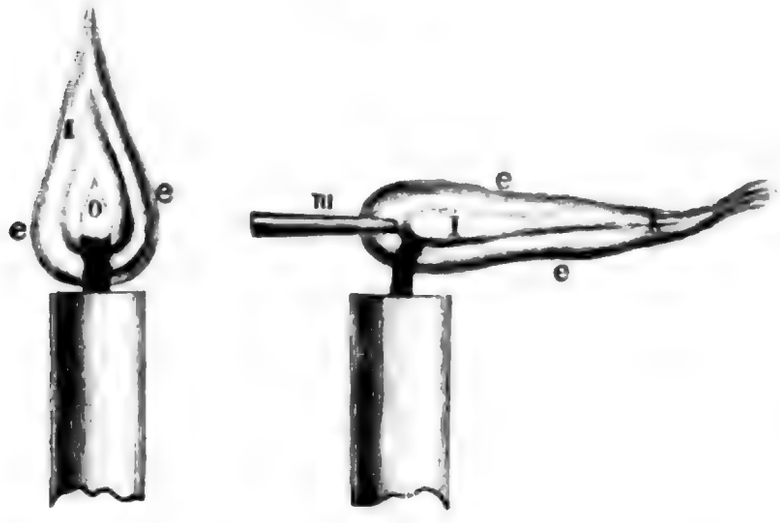
Gewinnung des Leuchtgases.

gas etwa 10 Volumprocente ölbildendes Gas und die obenerwähnten verwandten Kohlenwasserstoffe, im Uebrigen Grubengas, Kohlenoxyd, etwas Stickstoff und Wasserstoff.

Kerzen und Lampen.

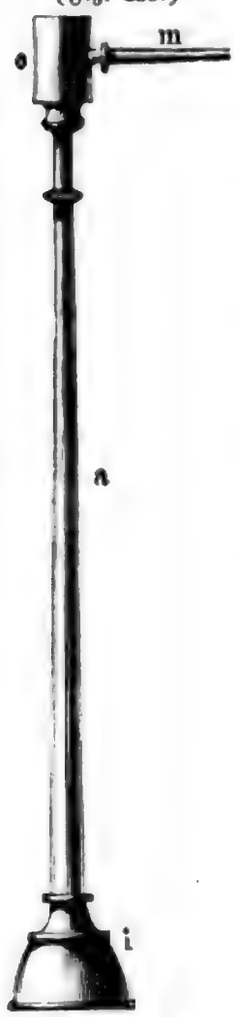
Eine Kerze oder Lampe stellt nur einen Gaserzeugungsapparat in kleinem Maßstabe dar. Der Unterschied in der Zusammensetzung der zur Verbrennung gelangenden Stoffe liegt darin, daß in der Kerzenflamme auch die Theerbestandtheile zur Verwendung kommen. Untersuchen wir, um obigen Vergleich durchzuführen, zunächst die Funktion des Dochtes, so sehen wir, daß dieser die Aufgabe hat, dem schließlichen Verbrennungsprozeß durch Aufsaugung des flüssigen Fettes regelmäßig neue Nahrung zuzuführen. Die Fetttheilchen, sobald sie an die Spitze des Dochtes, also in die Achse des Flammenkegels gelangt sind, werden durch die dort herrschende hohe Temperatur genau so zersetzt, wie in einer Retorte, da in das Innere der Flamme kein Sauerstoff der Luft gelangen kann. Die sich bildenden Destillationsgase strömen, von den neu entstehenden verdrängt, nach der Seite und nach aufwärts, und bilden so den inneren, gar nicht leuchtenden Theil o der Kerzenflamme, Fig. 254. Indem sie gegen die äußeren Grenzen derselben vorschreiten, kommen sie dem Verbrennungsheerde näher, und es findet in dem mittleren Theil der Flamme i die erörterte Kohlenstoffabscheidung statt, weshalb dieser lebhaft leuchtet, was in der äußeren Hülle e, woder reichlich hinzutretende Sauerstoff die vollständigste Verbrennung und auch die höchste Temperatur veranlaßt, durchaus nicht stattfindet, indem diese Hülle nur als ein schwachleuchtender Saum bemerkt wird. Man benutzt die Kerzenflamme, abgesehen von ihrer allgemeinen Anwendung als Beleuchtungsmittel, auch in der Chemie, um mittelst des Löthrohrs, auf einem freilich kleinen Punkte, eine sehr hohe Temperatur hervorzurufen und darin das Verhalten verschiedener Körper in starker Hitze zu erproben. Die Einrichtung des Löthrohrs der Chemiker macht Fig. 255 ersichtlich. Das Rohr a, gewöhnlich aus Messing, ist mit einem Mundstücke i versehen, bei welchem man die Luft einbläst. In der Erweiterung des Löthrohrs o sammelt sich die eingehauchte Feuchtigkeit an, während durch das rechtwinklig eingesteckte Rohr m, welches in eine fein gebohrte, gewöhnlich aus Platin verfertigte, Spitze endigt, die Luft durch Pressung austritt. Wird nun, während man das Rohr m horizontal in die Kerzenflamme hält, solchergestalt ein feiner Luftstrom in dieselbe geführt, so erleidet die Beschaffenheit der Flamme dadurch eine wesentliche Veränderung, welche wir in obiger Fig. 254, neben der normalen Kerzenflamme, dargestellt finden. Die einströmende Luft bedingt, daß sogleich die sich entwickelnden Destillationsgase über dem Dochte theilweise zur Verbrennung gelangen,

(Fig. 254.)



Das Löthrohr.

(Fig. 255.)



und lenkt natürlich die Stellung des Flammenkegels um einen rechten Winkel ab, so daß dieser horizontal erscheint. Während also in dem inneren Kegel der normalen Flamme keinerlei Verbrennung vor sich geht, findet diese in dem Theile i der Löthrohrflamme, durch Vermittlung der eingeblasenen Luft, lebhaft statt. Die Kohlenstofftheilchen haben keine Zeit sich abzuscheiden und zu glühen, da sie unmittelbar zur Verbrennung gelangen, weshalb auch die Löthrohrflamme wenig leuchtet. Jene Theile der Destillationsgase, die sich dem Verbrennen im Innern entzogen haben, unterliegen in der äußeren Hülle e der Wirkung des von Außen eindringenden Sauerstoffs, und es ist klar, daß, da hier die Verbrennung gleichzeitig und vollständig erfolgt, die Temperatur dieser Flamme viel höher sein muß, als die einer gewöhnlichen Kerzenflamme. An der Spitze des innern Kegels i ist der durch das Löthrohr einströmende Sauerstoff schon völlig verzehrt, und dort dringt auch der Sauerstoff von Außen nicht hin, während sich an dieser Stelle noch unverbrannte Kohlenwasserstoffe finden, weshalb sauerstoffhaltige Körper, die überhaupt durch Kohlenstoff und Wasserstoff in der Hitze reducirt werden, diese Veränderung an der innern Spitze der Löthrohrflamme erleiden. Man kann also, obwohl in kleinem Maßstabe, vielerlei Reduktionen in der Löthrohrflamme herbeiführen. Die äußere Spitze ist ebenfalls sehr heiß, dort findet aber schon der Sauerstoff der Luft Zutritt, und man kann deßhalb an dieser Stelle lebhafte Oxydationsprozesse einleiten. Die vor dem Löthrohr zu prüfenden Körper bringt man gewöhnlich auf einer gut ausgeglühten Holzkohle oder an der Spitze eines Platindrahtes in die Flamme.

Generator- und Gichtgase.

Wir haben im Obigen gesehen, wie die Destillationsgase wegen ihres Gehaltes an ölbildendem Gas eine wichtige Anwendung als Leuchtmaterial finden, und müssen erwähnen, daß ähnliche Produkte sich auch ganz gut als Heitzmaterial verwenden lassen und in neuerer Zeit auch immer mehr und umfassender als solches in Gebrauch kommen. Man erzeugt sie dann durch eine unvollkommene Verbrennung der gewöhnlichen Brennstoffe, so, daß die Bildung von Kohlensäure möglichst vermieden, dagegen eine reichliche Entstehung von Kohlenoxyd veranlaßt wird. Es läßt sich dieß leicht bewerkstelligen, wenn man den Luftzutritt soweit hemmt, daß der Sauerstoffgehalt derselben nur ausreicht, um Kohlenoxyd hervorzubringen. Man nimmt diesen Prozeß gewöhnlich in sogenannten Schachtöfen vor; mehr oder weniger hohen, viereckigen oder kreisrunden, mit feuerfesten Steinen ausgekleideten Oefen, auf deren Basis sich entweder ein Rost befindet oder die Düse eines Gebläses, um so der Luft den nöthigen Zutritt zu verschaffen. Die obere Oeffnung, Gicht, ist in diesem Falle geschlossen, und in deren Nähe ein Seitenkanal angebracht, durch welchen die im Ofen entstehenden Gase an den Ort ihrer Bestimmung geleitet werden können. Eine passende Vorrichtung gestattet das theilweise Nachtragen des Brennstoffs. So eingerichtet, wird der Ofen ein Gasgenerator genannt; das Produkt führt den Namen Generatorgase, und über seine Entstehung geben die obigen Mittheilungen

Digitized by Google

Auskunft. Die Luft, welche unten zu der glühenden Kohle tritt, bildet sogleich Kohlenoxyd. Der der Luft beigemengte Wasserdampf zerlegt sich in der unten herrschenden hohen Temperatur mit einem anderen Antheile des Kohlenstoffs zu Kohlenoxyd und Wasserstoff. Diese Gase strömen mit hoher Temperatur, von der nachdringenden Luft weitergetrieben, aufwärts, veranlassen dort, wenn unverkohlte Materialien zur Anwendung kamen, die trockne Destillation derselben, und treten, mit den Destillationsgasen gemengt, aus dem Generator. Man erhält so ein Gemenge, welches etwa 33 Volumprocente Kohlenoxyd und 2—10% Wasserstoff, 1—5% Kohlensäure, endlich 56—65% Stickstoff und zuweilen etwas Grubengas enthält, und, trotz der großen Beimengung des indifferenten Stickstoffs, bei seiner Verbrennung einen bedeutenden Hitzegrad entwickelt.

Kohle.

Wenden wir uns nun zu der bei der trockenen Destillation entstehenden **Kohle**, so beobachten wir, daß selbe nach der Natur der verkohlten Substanz, sowohl hinsichtlich ihrer Zusammensetzung, als äußeren Beschaffenheit, sehr verschieden sein kann. Je höher die Temperatur war, welcher man die Kohle schließlich aussetzte, um so weniger enthält sie von den übrigen Bestandtheilen der verkohlten Substanz, obwohl diese nie vollständig weggetrieben werden können. Nach gewöhnlichen Verfahrungsweisen dargestellte Holzkohle z. B. enthält zuweilen nur 82% Kohlenstoff, dagegen noch über 2% Wasserstoff, 14% Stickstoff mit Sauerstoff und natürlich eine entsprechende Menge von etwa $1^1/_2$% Asche. Hat man die Holzkohle dagegen in sehr starker Hitze erzeugt, oder vielmehr schließlich einer solchen ausgesetzt, so findet sich der Kohlenstoffgehalt bis auf 96% und darüber gesteigert. Aehnliches gilt auch von den Kohlen aus anderen Materialien. Was das Aussehen der verschiedenen Kohlen anlangt, so hängt dieses vorzugsweise von dem Verhalten während der Verkohlung ab. Holz z. B. liefert bekanntlich eine lockere, poröse, nach der Dichte des Holzes selbst mehr harte oder weiche Kohle, welche das Gefüge des Materials noch deutlich nachahmt, da das Holz beim Erhitzen nicht schmilzt, und somit die endlich frei gewordenen Kohlentheilchen sich noch an ihrer ursprünglichen Stelle finden. Die durch das Entweichen einer namhaften Quantität der Holzsubstanz als Destillationsprodukte bedingten zahlreichen Poren in der zurückgebliebenen Kohle machen diese leicht verbrennlich, da der Sauerstoff überall leicht eindringen kann, doch bemerkt man, wie in sehr hoher Temperatur erzeugte Kohle im Allgemeinen immer dichter und deshalb schwer verbrennlich ist.

Koks.

Durch Verkohlung der Steinkohle erhält man die **Koks**. Diese sind immer dichter und schwerer verbrennlich als die Holzkohle, und werden allgemein nur aus solchen Steinkohlen erzeugt, welche beim Erhitzen, vor der völligen Zersetzung, weich werden und zusammenbacken, weshalb die schließlich daraus gewonnene Kohle, in Folge der aus der backenden Masse entweichenden Gase, eine aufgeblähte, unregelmäßige und gewöhnlich ziemlich metallglänzende, dichte Kohle vorstellt, die wegen ihres bedeutenden Kohlenstoffgehaltes sich zur Erzeugung sehr hoher Temperaturen besonders gut eignet. Der Holzkohle nähert sich in ihrer Beschaffenheit dagegen sehr die **Torfkohle**, weil auch der Torf während der Verbrennung nicht schmilzt oder weich wird. Harze und ähnliche Körper liefern dagegen, da sie während der Destillation ganz flüssig werden, eine zwar ziemlich poröse aber dichte und schwerverbrennliche Kohle. Bekanntlich werden verkohlte Brennstoffe sehr häufig dem unverkohlten Material vorgezogen, obwohl das letztere

Digitized by Google

in einer beſtimmten Gewichtsmenge viel mehr brennbare Beſtandtheile enthalten muß, als die aus dieſer Quantität gewonnene Kohle. (Siehe oben.)

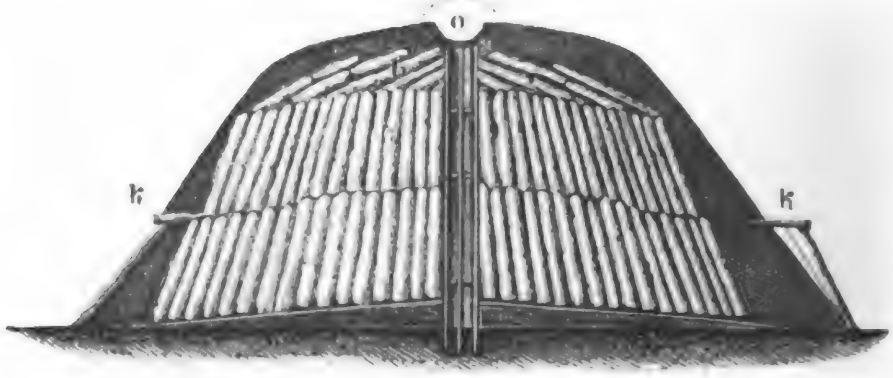
Daß die Kohks als Nebenprodukt bei Erzeugung des Leuchtgaſes aus Steinkohlen gewonnen werden, haben wir bereits erwähnt. Man erzeugt in neuerer Zeit auch aus Holz Leuchtgas, und es mag hier erwähnt werden, daß man in holzreichen Gegenden, in Retorten und ähnlichen Vorrichtungen, Holz in großen Maſſen zu deſtilliren pflegt, bloß, um als Hauptprodukt den Theer und das Theerwaſſer zu gewinnen, worauf wir ſpäter noch zurückkommen werden. Die in dieſen Fällen als Nebenprodukt gewonnenen Kohlen ſind nicht entfernt im Stande, den Bedarf an dieſen Brennſtoffen zu decken, welche deshalb, vermittelſt des ſogenannten Verkohlungsprozeſſes, an vielen Orten nach Methoden bereitet werden, bei welchen die Deſtillationsprodukte vollſtändig, oder nahezu vollſtändig, verloren gehen. Man benutzt dabei nämlich die, durch theilweiſe Verbrennung des zu verkohlenden Materials, welche man rechtzeitig unterbricht, ſich erzeugende Wärme, um den Reſt als Kohle im Rückſtande zu behalten.

Holzverkohlung.

Meiler.

Bei Holz geſchieht dieß in der Regel in den ſogenannten Meilern, deren Einrichtung Fig. 256 erſichtlich macht. Um den ſogenannten Quandel-

(Fig. 256.)



ſchacht o wird das Holz, entweder wie in der Zeichnung, aufrechtſtehend, oder horizontal, in zwei, zuweilen auch drei Etagen, aufgeſchichtet, und dann, durch die liegenden Scheite b, die Kuppe oder Haube des Meilers, gebildet. Mit Laub und Raſenſtücken bildet man dann zunächſt eine Decke über das Ganze, worauf man dann noch Kohlenlöſche (Kohlenſtaub) bringt, und dem Ganzen durch die Stütze k (die ſogenannte Rüſtung), die gehörige Feſtigkeit verleiht. Iſt der Meiler ſo vorgerichtet, ſo ſchreitet man zum Anzünden deſſelben durch Einwerfen von brennendem Holz in den Quandelſchacht, und es iſt nun Aufgabe, durch Einſtechen von Löchern in die Decke den Luftzutritt ſo zu regeln, daß die Verbrennung ſich erſtens nur auf das nöthige Maß beſchränkt, und zweitens auch regelmäßig, und zwar vom Quandelſchacht aus, nach allen Richtungen fächerförmig vorſchreitet, bis ſie endlich an der Baſis des Meilers angelangt iſt, wornach man zum Ziehen der Kohlen ſchreitet, das heißt, die noch im Innern des Meilers glühenden Kohlen allmälig herausholt und durch Bedecken mit Erde und Löſche vor einer weiterſchreitenden Verbrennung ſchützt, bis ſie erkaltet ſind. Während dieſes Vorganges tritt natürlich eine bedeutende Volumverminderung des Meilerinhalts ein, wodurch die Decke nicht ſelten in Unordnung geräth und

häufig ausgebessert werden muß. Man erhält so 18—20 Gewichtsprocente Kohle aus dem Holze.

Kohksgewinnung.

Auch die Bereitung von Kohks wird hie und da in Meilern vorgenommen, doch pflegt man das Verkohlen der Steinkohlen gewöhnlich in Oefen durchzuführen, deren Einrichtung sehr einfach ist und an die der Backöfen erinnert. Es sind runde oder ovale, mit einem ziemlich niedrigen Gewölbe überdeckte Heerde, mit verschließbaren Thüren zum Eintragen der Steinkohlen und mehreren Zuglöchern und Essen, um den Luftzutritt bequem regeln zu können. Sind diese Oefen bereits im Betriebe, und somit heiß, so hat man nur nöthig, nachdem die fertigen Kohks herausgezogen wurden, wieder frische Kohle einzutragen, wornach bald die Destillation beginnt und sich durch Entweichen eines dunklen Rauches kund giebt. Nach einiger Zeit ist der Inhalt des Ofens so weit erhitzt, daß die Destillationsprodukte sich entzünden und dadurch den nöthigen Hitzegrad zur Fortsetzung dieses Vorganges erregen, bis endlich das Entweichen gasförmiger Produkte aufhört und damit auch der Prozeß der Verkohlung beendigt ist.

Benutzung der Kohle als Reinigungsmittel.

Unstreitig ist die wichtigste Anwendung der Kohle die als Brennstoff, doch benutzt man selbe auch noch als Mittel, um Flüssigkeiten und gasförmige Gemenge von gewissen Verunreinigungen zu befreien, wozu sich die Kohle vermöge ihrer merkwürdigen Eigenschaft, auf ihrer Oberfläche verschiedene Körper mit eigenthümlicher Intensität zu verdichten, besonders eignet; namentlich, wenn sie sehr porös ist, wie z. B. die Holzkohle. Glüht man solche etwas aus, um die in ihren Poren vorfindliche Luft wegzutreiben und läßt sie hierauf unter Quecksilber auskühlen und unter einer Glocke mit Kohlensäure in Berührung kommen, so absorbirt sie von diesem Gase etwa ihr zwanzigfaches Volum, von Ammoniakgas noch weit mehr, und wir sehen hier eine ähnliche Wirkung, wie etwa bei dem fein vertheilten Platin. Die Kohle entzieht aber auch den Flüssigkeiten gewisse in Lösung darin sich vorfindliche Stoffe reichlich und zwar vorzugsweise färbende oder übelriechende Substanzen, weßhalb sie zur Beseitigung derselben bei gewissen Betrieben, z. B. in der Zuckerfabrikation, Branntweinbrennerei u. dergl. eine sehr wichtige Anwendung findet. Hiezu eignet sich besonders lockere stickstoffhaltige Kohle, welche durch Verkohlen stickstoffreicher thierischer Substanzen, wie Leim, Blut u. dergl., gewonnen wird. Alle Bedingungen großer Anwendbarkeit erfüllt dießfalls die sogenannte Knochenkohle, welche durch Erhitzen von Knochen der Säugethiere in eisernen verschlossenen Gefäßen bis zur völligen Verkohlung und nachheriges Zerkleinern zu einem gröblichen Pulver hergestellt wird. Die Knochen bestehen aus unverbrennlichen Salzen der Phosphor- und Kohlensäure mit Kalk und Bittererde, zwischen deren Theilchen, um ihnen Halt und Festigkeit zu geben, ein stickstoffreicher organischer Körper das leimgebende Gewebe gleichsam als Bindemittel eingelagert ist. Dieses liefert nun beim Erhitzen eine stickstoffreiche Kohle, welche zwischen den unorganischen Salzen, fein zertheilt, wegen ihrer ursprünglichen Beschaffenheit sowohl, wie wegen der durch erwähnte Umstände bedingten Porosität, eine so vorzügliche Wirksamkeit zeigt. Im Handel wird dieses Produkt Spodium genannt. Um aus der Luft Verunreinigungen, wie in lange verschlossenen Gemächern oder in Krankensälen, endlich bei Wunden sich bildende schädliche Dünste und Miasmen fortzuschaffen, hat man dagegen in neuerer Zeit mit großem Erfolg gut ausgeglühte Holzkohle in Anwendung gebracht, indem man sie an den betreffenden Orten in offenen Gefäßen aufstellte.

Knochenkohle.

Digitized by Google

Die Atmosphäre.

Es wurde bereits früher erzählt, wie unsere Kenntniß über die Zusammensetzung der atmosphärischen Luft erst zur Zeit Lavoisier's eine richtige geworden, wie man früher die Luft für ein gleichartiges Ganze hielt, welchem man nach der eben herrschenden Theorie verschiedene chemische Funktionen zuschrieb. Nachdem mit aller Sicherheit erkannt war, daß die Luft ein Gemenge von Sauerstoff und Stickstoff sei und die Bedeutung des Sauerstoffs besonders für die Lebensvorgänge der Organismen immer klarer wurde, hat man sich bemüht, den Sauerstoffgehalt der Luft festzustellen. Die hieher gehörigen Versuche bezeichnet man als Eudiometrie (Luftgütemessung), weil man damals der Ansicht war, daß der verschiedene Gesundheitszustand an verschiedenen Orten seinen Grund in dem größeren oder geringeren Sauerstoffgehalte der Luft habe. Darin wurden die damaligen Chemiker noch sehr bestärkt durch die Ungleichheit der Resultate ihrer Untersuchungen, welche aber keineswegs in einer schwankenden Zusammensetzung der Luft, sondern in den unzureichenden Mitteln ihren Grund hatte, die zur Anwendung kamen. Man untersuchte die Luft, indem man Substanzen, welche den Sauerstoff absorbiren und von denen bereits oben bei Stickstoff die Rede war, in einer graduirten Röhre mit einem bestimmten Volum Luft zusammenbrachte und nach erfolgter Absorption des Sauerstoffs die dabei stattgefundene Volumverminderung beobachtete. Nachdem erkannt war, daß durch die damals benutzten Absorptionsmittel ein genaues Resultat sich nicht erzielen lasse und andererseits die constanten Raumverhältnisse, in welchen sich Gase chemisch verbinden, festgestellt wurden, benutzte man (zuerst Volta) die Verbrennung des Wasserstoffs mit Sauerstoff zur Ausmittlung des Sauerstoffgehaltes der Luft. Wenn man nämlich in einer graduirten Röhre Sauerstoff im Gemenge mit Stickstoff mit einem genau gekannten Volum Wasserstoff zusammenbringt und hierauf mittelst zweier in die Röhre eingeschmolzener Metalldrähte einen electrischen Funken durch das Gemenge der Gase schlagen läßt, so vereinigt sich sämmtlicher Sauerstoff mit Wasserstoff zu Wasser, welches sich rasch verdichtet und im Verhältniß zu den ursprünglich gasförmigen Bestandtheilen einen verschwindend kleinen Raum einnimmt. Es muß nun eine namhafte Volumverminderung des Gases eingetreten sein, in Folge deren das die Röhre absperrende Quecksilber aufwärts steigt und an der Eintheilung der Röhre mit gehöriger Berücksichtigung der Quecksilbersäule, des Luftdruckes u. s. f. die stattgefundene Raumveränderung abzulesen erlaubt. Wenn wir nun berücksichtigen, daß Sauerstoff mit Wasserstoff sich stets in dem Verhältnisse von 1 : 2 Volumen zu Wasser verbinden, so wissen wir auch, daß von dem beim Versuche verschwundenen Gasvolum gerade ein Drittel ursprünglich als Sauerstoff vorhanden gewesen.

Eudiometrie.

Die vielfältigsten Untersuchungen der Luft in dieser Weise, mit aller Vollkommenheit ausgeführt, haben bewiesen, daß der Sauerstoffgehalt derselben constant ist, und mag die Luft, mit Ausnahme dicht bewohnter oder ganz geschlossener Räume, wo immer gesammelt worden sein, sie zu allen Zeiten bis auf sehr geringe Schwankungen auf 20,9 Raumtheile Sauerstoff 79,1 Raumtheil Stickstoff in 100 enthält oder auf Gewicht reducirt 23,1 % Sauerstoff und 76,9 % Stickstoff. Diese beiden Elemente sind aber keineswegs allein als normale Bestandtheile der Luft zu bezeichnen. Wir finden darin immer auch etwas Kohlensäure; in 10,000 Raumtheilen Luft, etwa 2,5 bis 5; ferner in noch

Zusammensetzung der Luft.

Digitized by Google

geringerer Menge, aber constant, Ammoniak und meistens auch Salpetersäure, endlich Wasserdampf; diesen bekanntlich in sehr schwankenden Quantitäten.

Man darf aber nicht meinen, daß mit diesen Stoffen die Zahl der in der Luft vorfindlichen Substanzen abgeschlossen sei. Es finden sich jedenfalls immer noch viele andere flüchtige Körper in der Atmosphäre, ganz abgesehen von den in Gestalt von Staubtheilchen darin schwebenden, höchst mannigfaltigen Substanzen. Alle faulenden und verwesenden Organismen, die Millionen von Feuerheerden, welche die Menschen täglich in Thätigkeit bringen, die so zahlreichen mannigfaltigen gasförmigen Produkte der menschlichen Gewerbsthätigkeit, vulkanische Gasexhalationen u. s. w., senden der Atmosphäre fortwährend fremdartige Bestandtheile zu. Es ist kein Irrthum, wenn man die Gesundheitsschädlichkeit der Lage gewisser Orte einer Verunreinigung der Luft zuschreibt, doch sind derlei fremde Beimengungen, wie sie unfehlbar namentlich in dichter bewohnten Gegenden sich vorfinden, immer nur in so kleiner Menge vorhanden, daß wir sie durch die chemische Analyse nicht mehr zu entdecken vermögen. Man wird den Umstand, daß doch verhältnißmäßig so große Quantitäten von fremdartigen Verunreinigungen, wie sie voraussichtlich täglich der Atmosphäre zugesendet werden, darin gewissermaßen verschwinden und so dem Chemiker unerreichbar werden, ganz begreiflich finden, wenn man sich erinnert, daß das Gewicht der Atmosphäre annähernd 112,500 Billionen Centner erreicht und die Kohlensäure, welche nach dem oben Gesagten doch nur in sehr kleiner Menge der Luft beigemischt ist, wiegt trotzdem im Ganzen durchschnittlich 86 Billionen Centner. Man wird andererseits sagen können, daß nach Jahrtausend langem Eindringen von so verschiedenartigen fremden Stoffen dennoch eine sehr merkliche Aufhäufung derselben beobachtet werden müßte und dieß wäre auch in der That der Fall, wenn die in die Luft gelangten Verbindungen sich dort unausgesetzt unverändert erhalten könnten. Dieß ist aber durchaus nicht der Fall. Kohlenstoffhaltige Substanzen verfallen endlich der Oxydation durch den Sauerstoff der Luft und liefern schließlich Kohlensäure und Wasser; so endigen alle durch Fäulniß und Verwesung stickstofffreier organischer Stoffe entstandenen flüchtigern oder fixen Substanzen. Der Stickstoff, welcher bekanntlich manche wichtige und verbreitete organische Substanzen als Bestandtheil charakterisirt, geht bei den erwähnten Zersetzungen in Ammoniak und häufig weiter in Salpetersäure über, die wir beide bekanntlich in der Atmosphäre nachweisen können. Es müßte also, wird man vielleicht einwenden, der Kohlensäure- und Ammoniakgehalt der Luft sich durch die lange Periode, während welcher unsere Erde Pflanzen und Thiere trägt, in einer enormen Weise gesteigert worden sein und doch beobachten wir dieß nicht. Letzterer Umstand findet seine Erklärung in dem Verhalten der Pflanzen zu den beiden genannten Körpern. Die Hauptmasse der Pflanzengebilde besteht aus Kohlenstoffverbindungen, welche neben diesem Element noch Wasserstoff, sehr häufig Sauerstoff und oft Stickstoff enthalten. Untersuchen wir, woher die Pflanzen, die bekanntlich häufig aus einem unscheinbaren Samenkorn zu mächtigen Gebilden sich entwickeln; diese Stoffe nehmen, so stellt sich als unabweisbare Wahrheit heraus, daß die Atmosphäre sie ihnen liefert, indem zu der keimenden oder schon weiter ausgebildeten Pflanze, im Regenwasser gelöst, beständig Kohlensäure und Ammoniak gelangen, die gemeinschaftlich die vier Elemente, aus welchen die organischen Pflanzentheile bestehen, und zwar in einer Form enthalten, daß sie zersetzt und zur Bildung organischer Stoffe verwendet werden können.

Gewicht der Atmosphäre.

Die Atmosphäre in beständiger chemischer Thätigkeit.

Die Pflanzen als Sauerstoffquelle.

Digitized by Google

Es geschieht dieß bei der Kohlensäure und theilweise auch beim Wasser immer unter Abscheidung von freiem Sauerstoff und in der That kann man von diesem Gase aus unter Wasser gebrachten Pflanzen eine reichliche Menge sich entwickeln sehen, wie schon Priestley kurz nach seiner Entdeckung des Sauerstoffs gefunden. Während also die Pflanzen unter Vermittlung des Wassers der Atmosphäre beständig Kohlensäure entziehen, geben sie ebenso unausgesetzt wieder Sauerstoff an diese zurück und erhalten so das obenerwähnte merkwürdige Gleichgewicht in der Zusammensetzung der Luft. Ein gewisser Antheil des Stickstoffs ist in einem ähnlichen Kreislauf begriffen, denn wie bemerkt, entweicht er aus den abgestorbenen Organismen als Ammoniak und kehrt als solches aus der Atmosphäre in die wachsende Pflanze zurück. Der Wasserstoff aber in den organischen Substanzen rührt sowohl vom Ammoniak wie vom Wasser her und erfährt schließlich ein ähnliches Schicksal, wie die beiden anderen Elemente, indem er dem oxydirenden Einflusse des Sauerstoffs theilweise verfallen, wieder Wasser bildet, theilweise neuerdings Ammoniak liefert. Alles Leben der Pflanzen und der Thiere charakterisirt sich durch eine beständige Wechselwirkung mit dem Sauerstoffe der Atmosphäre, der, unterstützt durch gewisse Organe der Pflanzen und die Athmungsvorrichtungen der Thiere, einen stetigen Zerstörungsprozeß in den Organismen thätig erhält, welcher in seinen äußeren Umrissen viele Aehnlichkeit mit der Verbrennung organischer Stoffe zeigt und daher gleich dieser mit der Bildung von Kohlensäure und Wasser endigt. Die Thiere athmen auch bekanntlich Kohlensäure und Wasserdampf aus, während sie Sauerstoff eingeathmet haben, und geben diese somit wieder an die Atmosphäre ab; auch in den Pflanzen geht theilweise ein ähnlicher Vorgang vor sich und im Dunkeln hauchen sie statt Sauerstoff Kohlensäure aus, doch reicht ihre Lebensthätigkeit hin, um auch diese wieder in Pflanzenstoffe überzuführen und einen Theil ihres Sauerstoffes frei zu machen. So lange die Organismen leben, sind all' die ineinander greifenden Prozesse, an denen, wie wir sehen, die Luft so thätigen Antheil nimmt, geregelt und hemmen die Fortentwicklung des Gebildes keineswegs. Nach dem Absterben aber verfällt die ganze Menge der zahlreichen organischen Stoffe, welche sich in der Pflanze oder dem Thiere vorfanden, der vollen unbeirrten Einwirkung des Sauerstoffs und nach einer Reihe von Umwandlungsphasen haben Kohlenstoff und Wasserstoff ihre ursprüngliche Gestalt wieder angenommen, um neuerdings Tausenden von folgenden Generationen wieder als Material zu ihrer späteren Entwicklung zu dienen. Wir werden unten Gelegenheit finden, manche uns bereits bekannte Einzelheiten näher zu besprechen und so den mächtigen Einfluß der Atmosphäre noch deutlicher zu machen. Hier mag nur noch die Bemerkung Platz finden, daß das Wasser als Regen, Schnee und Hagel immer wieder einen Theil der der Luft beigemengten fremden Stoffe gelöst und mechanisch auf die Erde zurückführt, und andererseits erinnern wir, wie das Wasser atmosphärische Luft zu absorbiren vermag und in dieser Weise der Sauerstoff auch in die größten Meerestiefen gelangt, um dort dieselben Wirkungen zu äußern, wie an der Oberfläche. Nur ist die vom Wasser absorbirte Luft anders zusammengesetzt, als die Atmosphäre und zwar bedingt durch die verschiedene Absorptionsfähigkeit des Wassers für die beiden Bestandtheile der Luft. Man findet darin bis 33 Volumprocente Sauerstoff.

Digitized by Google

Schwefel.

Der Schwefel gehört ebenfalls zu den verbreitetsten Elementen, denen ein wichtiger Einfluß auf viele natürliche chemische Prozesse zugestanden werden muß. Man findet ihn häufig und an manchen Stellen in großen Massen gediegen, mit anderen Gasen gemengt tritt er als Schwefelwasserstoff zu Tage, in welcher Gestalt er, in Wasser gelöst, auch die Schwefelquellen charakterisirt. In vulkanischen Gasexhalationen trifft man ihn zuweilen als schweflige Säure, während er zudem in Gestalt von schwefelsauren Salzen, von denen namentlich der schwefelsaure Kalk (Gyps) in sehr bedeutenden Mengen vorgefunden wird, sowie als Schwefelverbindung mancher Metalle auftritt. Auch für das organische Leben ist der Schwefel von entschiedener Bedeutung, da manche sehr wichtige und weit verbreitete organische Körper denselben als wichtigen Bestandtheil in unoxydirtem Zustande ausweisen. Wie der Kohlenstoff, zeigt auch der Schwefel mehre allotropische Modificationen. Man trifft ihn natürlich zuweilen in deutlichen octaedrischen Krystallen des zwei- und zweigliedrigen Systems und in diesem Zustande hat er die bekannte gelbe Farbe, welche jedoch bei einer Kälte von -50^0 beinahe in Weiß übergeht. Das spec. Gewicht des erwähnten krystallisirten Schwefels beträgt 2,07. Er ist, wie alle übrigen Modificationen, ohne Geruch und Geschmack und im Wasser unlöslich. Die Electricität leitet er schlecht, wird aber selbst leicht electrisch. Bei einer Temperatur von $111{,}5^0$ schmilzt der Schwefel und bildet eine grüngelbe bewegliche Flüssigkeit. Wenn man diese langsam abkühlen läßt, beginnt der Schwefel zu krystallisiren; gießt man den noch flüssigen Theil rasch ab, so erhält man lange schmale große Prismen, welche dem zwei- und eingliedrigen Systeme angehören, von mehr grüngelber Farbe sind und ein spec. Gew. von 1,96 zeigen. Die übrigen Eigenschaften theilt dieser Schwefel mit der ersten Modification. Beide lösen sich leicht in Schwefelkohlenstoff, liefern aber beim Verdunsten desselben nur die octaedrischen Krystalle der ersten Modification. Diese bilden sich auch aus den schiefen Prismen der zweiten, entweder bei längerem Stehen oder wenn man durch Ritzen mit einem harten Körper einen Anstoß zur Umlagerung der Krystalle giebt. Ohne daß die äußere Form die geringste Veränderung erfährt, sind die Prismen in ein Aggregat von sehr kleinen Octaëdern umgewandelt und verlieren dadurch ihre Durchsichtigkeit und glatte Oberfläche. Diese Erscheinung beobachten wir auch bei manchen anderen Körpern und sie beweist uns, daß selbst im starren Zustande den Molekülen eine gewisse Beweglichkeit vorbehalten geblieben. Außer diesen beiden Modificationen des Schwefels hat man noch einen zähen unkrystallisirten beobachtet, welcher durch sehr schnelles Abkühlen des bis zum Sieden erhitzten Schwefels, z. B. beim Eingießen in kaltes Wasser entsteht. Er bildet dann eine zähe, elastische, durchsichtige, gelbe Masse, deren spec. Gew. 1,91 beträgt. In diesem Zustande verharrt der Schwefel übrigens auch nicht lange; er wird wieder starr und krystallinisch. Erhält man Schwefel längere Zeit bei einer Temperatur von etwa 200^0 im Schmelzen, so scheiden sich Partien desselben in schwarzen Körnern ab, so daß außer den drei Hauptmodificationen noch wenigstens eine vierte als existirend angenommen werden muß. Wird der Schwefel über seinen Schmelzpunkt hinaus erwärmt, so nimmt er einen zähflüssigen Zustand und eine dunkelroth-braune Farbe an. Bei $+ 420^0$ erscheint er dünnflüssiger und beginnt zu sieden. Die Dämpfe desselben haben eine gelbrothe Farbe und ein spec. Gew. von 6,6. Nimmt man die Verflüchtigung in einer Retorte vor, so verdichtet sich der Schwefel-

Modificationen des Schwefels.

Digitized by Google

Schwefelblumen. dampf vorerst zu sehr kleinen gelben Tröpfchen, welche Schwefelblumen heißen. Dieß kann natürlich nur dann geschehen, wenn die kühlenden Wände des Apparates nicht die Schmelztemperatur des Schwefels haben, von welchem Augenblicke an dann sich flüssiger Schwefel condensiren muß.

Schwefelmilch. In einem noch feiner vertheilten Zustande kann man den Schwefel erhalten, wenn er aus gewissen, in Lösung befindlichen Verbindungen, durch passende Mittel abgeschieden wird. So erhält man ihn aus einer Lösung von fünffach Schwefelkalium und ähnlichen Verbindungen durch Zusatz von Säuren, wie z. B. Schwefelsäure, wobei das Hydratwasser der letzteren Sauerstoff an das Metall abgiebt, das neuentstandene Kaliumoxyd sich mit der Schwefelsäure zu einem löslichen Salz vereinigt, ein Atom Schwefel sich mit dem Wasserstoff zu gasförmigem Schwefelwasserstoff verbindet, während der übrige Schwefel sich als ein feines, grauweißes Pulver, die sogenannte Schwefelmilch, abscheidet oder wie man allgemein zu sagen pflegt, einen Niederschlag bildet. ($KS_5 + HO$, $SO_3 = KO$, $SO_3 + HS + 4S$.)

Gewinnung des Schwefels. Der Schwefel hat, neben seiner großen Bedeutung für so viele natürliche Vorgänge, auch eine besondere Wichtigkeit wegen seiner vielseitigen technischen Verwendung und wird daher dort, wo er sich reichlich findet, gewonnen. Stellenweise trifft man ihn nur wenig mit fremdartigen Bestandtheilen gemengt und dann genügt es, ihn in eisernen Kesseln zu schmelzen und durch Absetzen der Beimischungen zu reinigen. Häufig begleiten diese aber den natürlichen Schwefel so reichlich, daß eine solche Läuterung nicht angeht und man zu einer Destillation seine Zuflucht nehmen muß, wobei die nicht flüchtigen erdigen Beimengungen, wie Mergel, Kalkstein, Gyps, als Rückstand in der Retorte bleiben. Die Destillation wird gewöhnlich ziemlich roh, aus irdenen Krügen vorgenommen, welche reihenweise in passenden Oefen aufgestellt und beheizt sind. Die Krüge sind mit nach abwärts geneigten Hälsen versehen, welche die Schwefeldämpfe in eine ähnlich geformte Vorlage leiten, wo sich die Schwefeldämpfe condensiren und der flüssige Schwefel durch ein am Boden angebrachtes Rohr in ein untergesetztes Gefäß abfließt. Das Produkt wird Rohschwefel genannt und ist noch sehr unrein, für manche Zwecke aber ganz tauglich; doch läutert man den Schwefel nicht selten ein zweitesmal durch eine sorgfältigere Destillation, welche dann aus überwölbten gußeisernen Kesseln vorgenommen wird, die durch einen kurzen Kanal mit ziemlich großen gemauerten Kammern in Verbindung stehen, wo sich anfangs der Schwefel zu Schwefelblumen verdichtet, später aber, wenn die Wände der Kammer bereits auf $111{,}5^0$ erwärmt sind, sich flüssiger Schwefel am Boden ansammelt und von da durch Rinnen abgelassen werden kann. Es ist also möglich, wenn man von Zeit zu Zeit die Operation unterbricht, Schwefelblumen zu fabriciren oder im Gegentheile Stangenschwefel; denn in der Regel gießt man den Schwefel in hölzerne Stangenformen, wo er erstarrt und dann die bekannten Schwefelstangen vorstellt. Die größte Menge des Schwefels wird in Sicilien gewonnen. Im Vergleich zu dieser ist die Quantität Schwefel sehr klein, welche man hie und da aus Schwefelkies erzeugt, ein an manchen Orten in großen Massen auftretendes Mineral, welches aus zwei Atomen Schwefel und einem Atom Eisen besteht und beim Erhitzen in Retorten die Hälfte des Schwefels dampfförmig abgiebt, während einfach Schwefeleisen zurückbleibt.

Wir haben bereits beim Sauerstoff erwähnt, wie manche Elemente die Fähigkeit besitzen, Säuren und Basen hervorzubringen; was besonders vom

Digitized by Google

Sauerstoff selbst gilt. Der Schwefel ahmt diesen in seinen Verbindungsweisen im hohen Grade nach, er verbindet sich mit Metallen zu Körpern, die den Sauerstoffsäuren analog zusammengesetzte Schwefelverbindungen, Sulfosäuren, liefern, von denen nicht wenige auch natürlich vorkommen. Trotz dieser großen Aehnlichkeit ist die Verwandtschaft des Schwefels zum Sauerstoff sehr groß, wird aber bei direkter Vereinigung erst in höherer Temperatur rege. Bei stärkerem Erhitzen des Schwefels an der Luft entzündet er sich bekanntlich und verbrennt mit blaßblauer Flamme, unter Verbreitung eines erstickenden Geruchs, welcher dem Verbrennungsprodukte, der schwefligen Säure SO_2 zukömmt. Diese kann man bequemer auch durch Erwärmen von Kupfer oder Quecksilber mit Schwefelsäurehydrat erzeugen, wobei ein Theil des Letzteren an das Metall Sauerstoff abgiebt und, zu schwefliger Säure reducirt, gasförmig entweicht, während sich das so entstandene Metalloxyd, mit einem anderen Antheile der Säure, zu neutralem Salz verbindet: $Cu + 2SO_3 = CuO, SO_3 + SO_2$. Die schweflige Säure bildet in gewöhnlicher Temperatur ein farbloses irrespirables Gas von 2,247 spec. Gew. Schon bei einer Temperatur von — 20° wird sie zu einer leicht beweglichen farblosen Flüssigkeit condensirt, deren Siedepunkt bei — 8° liegt. Man hat auch eine krystallinische Verbindung der Säure mit Wasser hervorgebracht. Letzteres löst sie reichlich auf und bildet damit eine deutlich sauerschmeckende Flüssigkeit, vom Geruch der schwefligen Säure. Man bedient sich derselben als Bleichmittel für Seide, Stroh, Wolle, zum Ausbringen von Obstflecken, wie auch hie und da als Heilmittel, im großartigen Maßstabe aber als Material zur Erzeugung von Schwefelsäure.

Schweflige Säure.

Die Schwefelsäure kennen wir im wasserfreien Zustande und als Hydrat. Die wasserfreie Schwefelsäure SO_3 bildet eine farblose, zähe, aus feinen seidenglänzenden, federförmig vereinigten Nadeln zusammengesetzte Masse, welche bei 23° schmilzt, bei etwa 52° siedet, aber schon in gewöhnlicher Temperatur an der Luft verdampft, dort, Feuchtigkeit anziehend, sich in das sehr schwer flüchtige Schwefelsäurehydrat verwandelt und dann dicke weiße Nebel bildet. Die Verwandtschaft der wasserfreien Säure zu Wasser ist sehr groß, und bringt man eine etwas bedeutende Menge derselben in Wasser, so ist die bei der Verbindung sich entwickelnde Wärme so mächtig, daß das Wasser mit einem Geräusche aufbraust, wie wenn glühendes Eisen hineingesenkt worden wäre. Hat man ziemlich viel Wasser bei diesem Versuche angewendet, so erhält man verdünnte Schwefelsäure, als eine wasserhelle geruchlose Flüssigkeit, von sehr saurem Geschmacke. Wird diese in einer Retorte, mit eingesenktem Thermometer, zum Sieden gebracht, so destillirt anfangs, unter beständigem Steigen des Siedepunktes, bloß Wasser über, bis die Temperatur 205° Grad erreicht hat, wo sich auch in der Vorlage Säure zu zeigen beginnt. Der Siedepunkt steigt aber fortwährend und erreicht endlich 324°, von da an bleibt er aber constant, woraus sich entnehmen läßt, daß nun eine beständige, durch Wärme nicht mehr zerlegliche Verbindung des Wassers mit Schwefelsäure sich verflüchtigt; diese ist das zweite Hydrat oder gewöhnliche Schwefelsäure von der Zusammensetzung: SO_3, HO. Es bildet eine ölartige, geruch- und farblose Flüssigkeit, welche an der Luft nicht raucht, ein spec. Gew. von 1,848 zeigt, organische Stoffe zerstört und gewöhnlich auch bräunt, sich unverändert destilliren läßt und erst bei — 35° fest wird. Leitet man in diese Säure Dämpfe von wasserfreier Schwefelsäure, so werden diese reichlich absorbirt, bis endlich das sogenannte erste Hydrat sich gebildet

Schwefelsäure.

Hydrate der Schwefelsäure.

Digitized by G

hat, welches nach der Formel $2SO_3, HO$ zusammengesetzt ist und eine farblose Flüssigkeit vorstellt, die an der Luft beständig Dämpfe der wasserfreien Säure ausstößt und deshalb raucht. Das spec. Gew. des ersten Hydrats beträgt 1,854. Beim Mischen mit Wasser entwickeln beide Hydrate viel Wärme. Setzt man dem zweiten Hydrat noch ein Atom Wasser zu, so bildet sich ein drittes Hydrat: $SO_3, 2HO$, welches schon bei 6^0 über Null zu großen durchsichtigen prismatischen Krystallen erstarrt und deshalb auch Eisöl genannt wird. Es hat ein spec. Gew. von 1,78 und beginnt bei 205^0 zu sieden, wobei aber nur Wasser mit etwas Säure entweicht, bis endlich, wie oben bemerkt, das zweite Hydrat zurückbleibt.

Die große Verwandtschaft, welche die Schwefelsäure zu den Basen zeigt, macht sie zur Abscheidung vieler Säuren aus ihren Salzen geeignet. Eine große Anzahl von Metallen wird durch Schwefelsäure, unter Bildung schwefelsaurer Verbindungen, gelöst. Man verwendet sie zudem noch für mannigfaltige andere Zwecke, von welchen wir viele noch später namhaft machen wollen, sowohl in den Gewerben, wie den Laboratorien, und es muß deshalb die Schwefelsäure als eine der wichtigsten chemischen Verbindungen bezeichnet werden, welche den Ausgangspunkt für zahlreiche, im großartigsten Maße betriebene Industriezweige bildet. Sie wird deshalb auch in sehr bedeutenden Quantitäten fabrikmäßig erzeugt.

Rauchende Schwefelsäure.

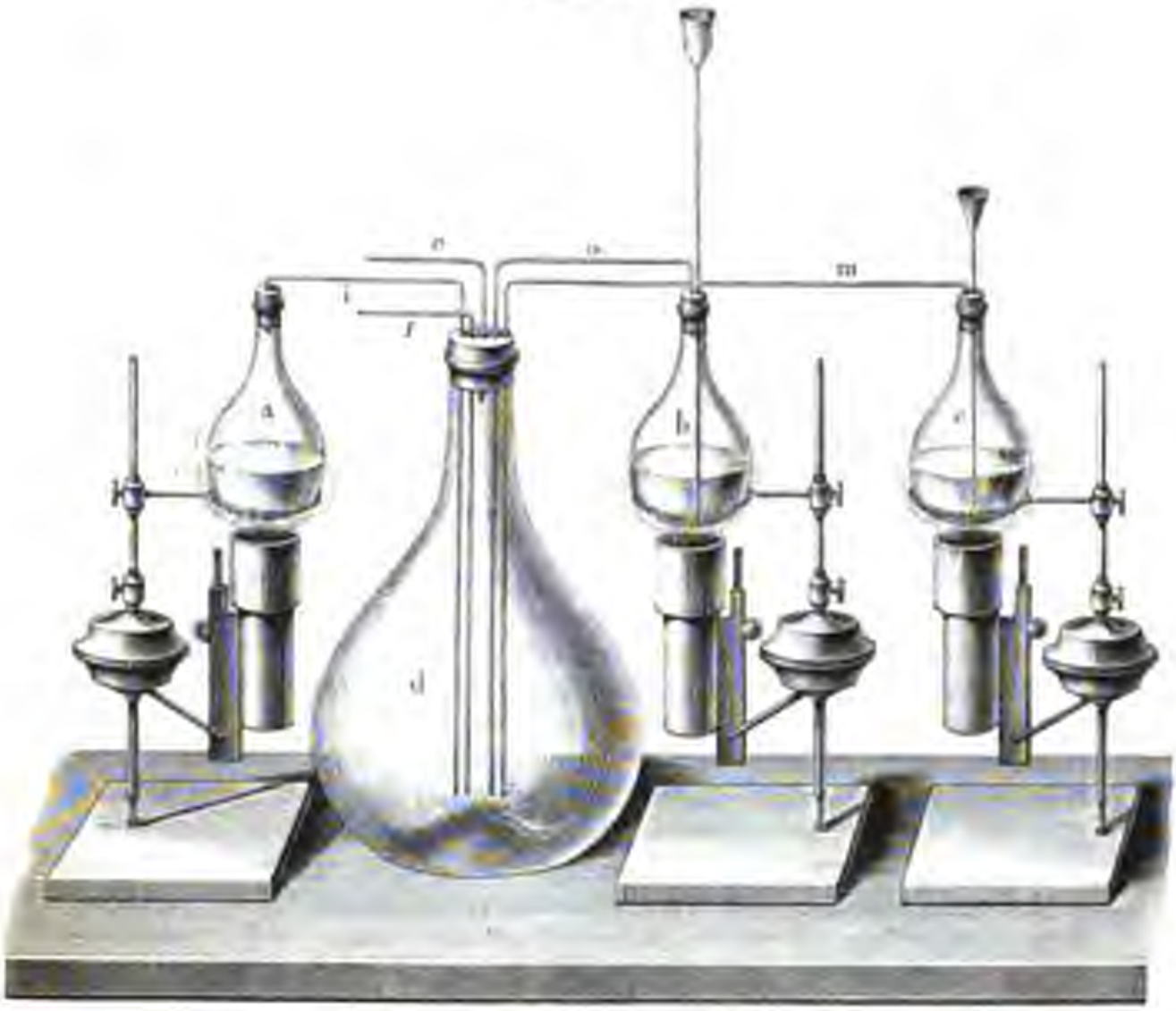
Es kommen zweierlei Sorten in den Handel: die Nordhäuser oder rauchende Schwefelsäure (das rauchende Vitriolöl) und die englische Schwefelsäure (das englische Vitriolöl). Ersteres ist ein Gemenge des ersten und zweiten Hydrats, wie schon der Name andeutet. Man erzeugt sie durch Einleiten der wasserfreien Säure in die englische Schwefelsäure, welche als ein Gemenge des zweiten und dritten Hydrats zu betrachten ist und von letzterem etwa 15% enthält. Die Nordhäuser Schwefelsäure wird vorzugsweise in Böhmen fabricirt. Die wasserfreie Schwefelsäure erzeugt man dort durch Glühen von basisch schwefelsaurem Eisenoxyd, welches in der Hitze die Schwefelsäure wasserfrei fahren läßt, während das Eisenoxyd unverbunden zurück bleibt. Das genannte Salz wird durch Erwärmen von Eisenvitriol an der Luft gewonnen. Dieser ist schwefelsaures Eisenoxydul: FeO, SO_3. Die Basis desselben oxydirt sich leicht zu Eisenoxyd: $2(FeO, SO_3) + O = Fe_2O_3, 2SO_3$, und es entsteht so das erwähnte basische Salz. Dieses bringt man hierauf in birnförmige Retorten aus feuerfestem Thon, von denen mehrere Reihen in einem Ofen eingesetzt sind und deren Hälse aus demselben hinaus reichen. Nun wird anfangs gelinder erhitzt, um zunächst alle Feuchtigkeit fortzutreiben, hierauf steigert man die Temperatur und sobald sich die weißen Nebel der wasserfreien Säure zeigen, verbindet man die Retortenhälse mit den Vorlagen, in welchen sich bereits die entsprechende Menge Schwefelsäurehydrat vorfindet, welches nun die wasserfreie Schwefelsäure absorbirt. Das Produkt dient vorzugsweise zum Auflösen von Indigo (s. unten), in den Laboratorien aber zur bequemen Darstellung der wasserfreien Schwefelsäure, indem es beim Erwärmen in einer Retorte diese abgiebt, während das zweite Hydrat zurückbleibt.

Englische Schwefelsäure und deren Fabrikation.

Viel großartiger ist die Quantität der fabriksmäßig producirten englischen Schwefelsäure. Bevor wir den Betrieb dieser Erzeugung etwas näher schildern, wollen wir die Theorie derselben erörtern. Denken wir uns in Fig. 257 den Kolben a mit Wasser gefüllt, während sich in b verdünntere Salpetersäure mit Kupfer, in c concentrirte Schwefelsäure mit Quecksilber

Digitized by Google

(Fig. 357.)



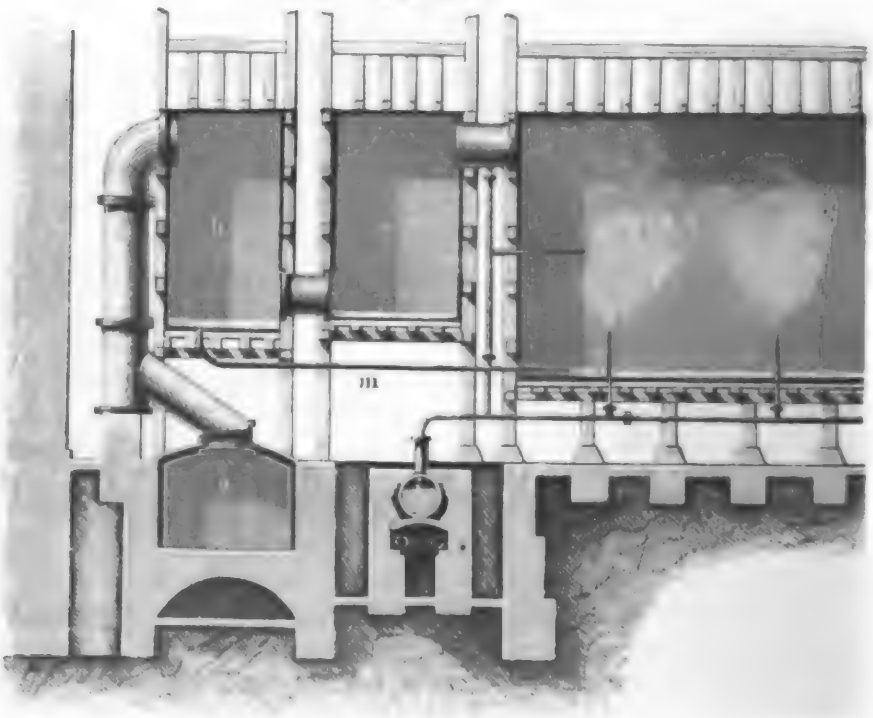
befinden und der große Glasballon d mit Sauerstoff gefüllt ist, von welchem auch später beliebig durch das Rohr f, aus einem Gasometer, welches in der Zeichnung weggelassen ist, noch weiter eingeleitet werden kann und durch das Rohr e die Gase allenfalls auszutreten vermögen. Sobald wir durch gelindes Erwärmen aus b Stickoxyd entwickeln und dieses durch o in den Ballon tritt, bilden sich dort sogleich Dämpfe von Untersalpetersäure (s. S. 452). Wird sodann die Bildung von Stickoxyd unterbrochen, während aus a Wasserdampf und aus c durch m schweflige Säure in den Ballon treten, so verschwindet die Untersalpetersäure und es sammelt sich am Boden von d wässrige Schwefelsäure an, deren Bildung unausgesetzt fortschreitet, wenn wir fortfahren, gleichförmig Wasserdampf, schweflige Säure und Sauerstoff in den Ballon treten zu lassen, ohne daß hierbei ein weiteres Einleiten von Stickoxyd nöthig wäre. Welches ist nun die Wirkung des letzteren Körpers, den wir zu Anfang bei Bildung der Schwefelsäure nicht entbehren konnten? Sie beruht auf der Bildung von Untersalpetersäure, welche wir oben beobachtet haben und die durch den Wasserdampf in Salpetersäure und Stickoxydgas zerlegt wurde: $3NO_4 + 2HO = 2(NO_5, HO) + NO_2$. Die Salpetersäure aber verwandelt sich bei Gegenwart von schwefliger Säure und Wasser in Untersalpetersäure, während andererseits Schwefelsäurehydrat entsteht: NO_5, HO

$+SO_2 = SO_3HO + NO_3$. Der zutretende Sauerſtoff hat überdieß das Stickoxyd ebenfalls in Unterſalpeterſäure übergeführt, welche neuerdings durch Waſſer die erwähnte Zerſetzung erleidet und dann als Salpeterſäurehydrat ihre oxydirende Wirkung auf eine entſprechende Menge ſchweflige Säure beginnen kann. Wir ſehen alſo, daß eigentlich eine kleine Menge Salpeterſäure, falls nur Sauerſtoff, Waſſer und ſchweflige Säure unausgeſetzt im richtigen Verhältniſſe nachſtrömen, eine unbegrenzte Menge von ſchwefliger Säure in Schwefelſäure überzuführen vermag. Auf dieſem Vorgange beruht nun die Fabrikation des engliſchen Vitriolöls mit dem Unterſchiede, daß ſtatt Sauerſtoff Luft angewendet wird, deren Stickſtoff beſtändig aus dem Gefäße, in welchem die Gaſe auf einander wirken, entfernt werden muß, was nicht geſchehen kann, ohne daß gleichzeitig das beigemengte Stickoxyd und Unterſalpeterſäuredampf mit entweichen und ſomit für den weiteren Verlauf des Vorganges verloren gehen. Man iſt daher genöthigt, von Zeit zu Zeit die wirkende Salpeterſäure im Apparate zu erneuern. Es iſt klar, daß dieſer ſeinem Zweck um ſo mehr entſprechen wird, je länger die Unterſalpeterſäure in demſelben verweilen kann, daher man die betreffenden Vorrichtungen ſehr geräumig anlegt, um die aufgewendete Salpeterſäure möglichſt vollkommen auszunützen. Fig. 258 (I. und II.) macht die Einrichtung in ihren weſentlichſten Theilen erſichtlich. b, c, d, e, f ſind aus Bleiplatten zuſammengefügte, durch Holzgerüſte geſtützte Gefäße, die ſogenannten

Die Bleikammern.

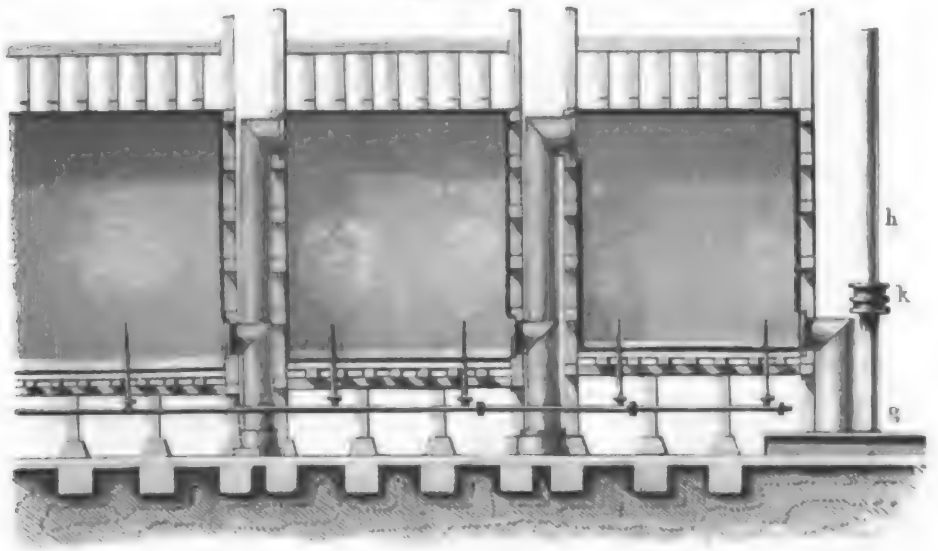
Bleikammern. Man verwendet dieſes Material, weil es von den darin in Wechſelwirkung gebrachten Stoffen wenig angegriffen wird. Die Kammern b, c, e, f ſind viel kleiner als d, welche in der Zeichnung nur theilweiſe ausgeführt iſt. Durch die weiten Röhren, welche in der Abbildung deutlich ſichtbar ſind, communiciren ſämmtliche Kammern dergeſtalt mit einander, daß die Gaſe, welche ſich von b nach f bewegen, auf- und abzuſteigen genöthigt

(Fig. 258. I.)



ſind. Man giebt der Hauptkammer häufig einen Rauminhalt von etwa 160,000 Kubikfuß; die Nebenkammern b, c, e, f, nehmen zuſammengenommen etwa den vierten Theil dieſes Raumes ein. Ein eiſerner Ofen a, welcher durch ein weites Rohr mit der erſten Nebenkammer b in Verbindung geſetzt iſt, dient zum Verbrennen des Schwefels. Die ſchweflige Säure mit einem Ueberſchuß von Luft gelangt nach b und von dort nach c, wo terraſſenförmig über einander aufgeſtellte flache Schalen, in welche beſtändig durch ein Bleirohr Salpeterſäure einfließt, die ſich dort mit großer Oberfläche verbreitet, aufgeſtellt ſind. Hier findet nur die oben erwähnte Reduction der Salpeterſäure ſtatt, es bildet ſich Unterſalpeterſäuredampf, welcher mit den übrigen Gaſen in die Hauptkammer ſtrömt, während die am Boden ſich anſammelnde Schwefelſäure, welche noch einen merklichen Antheil Salpeterſäure enthält, nach b abfließt, wo die Salpeterſäure vollſtändig zerſetzt wird und von da durch das Rohr m in die Hauptkammer gelangt. In dieſer geht nun der eigentliche Umwandlungsprozeß in großem Maßſtabe vor ſich. Aus dem Dampfkeſſel i tritt durch eine gewiſſe Anzahl von Zweigröhren der hierzu nöthige Waſſerdampf in die Kammer und es verdichtet ſich reichlich Schwefelſäure, welche vom Boden der Kammer durch ein Rohr continuirlich abfließt. Durch die beſtändig nachſtrömenden Gaſe verdrängt, muß das Gemenge nun nach e und von da nach f vorwärts ſchreiten, wo ſich der Prozeß fortſetzt, ſo daß ſchließlich nur wenig unveränderte ſchweflige Säure mehr durch das als Eſſe dienende Bleirohr h entweichen kann, nachdem ſich die letzten Antheile von Schwefelſäure noch in dem flachen Kaſten g angeſammelt haben. Die Erweiterung k enthält eine durchlöcherte Bleiplatte, welche durch theilweiſe Bedeckung der Oeffnungen den Luftzug und ſomit den Verlauf des Prozeſſes zu regeln geſtattet. Aus e und f fließt die Säure ebenfalls nach d ab. Erfahrungsmäßig gelingt der Prozeß am beſten,

(Fig. 258. II.)



wenn ſo viel Waſſer in die Kammern einſtrömt, daß die Säure etwa ein ſpec. Gewicht von 1,5 zeigt und 60 % Säurehydrat enthält. Man nennt ſie Kammerſäure und kann ſie unmittelbar für manche Zwecke verwenden; gewöhnlich aber iſt es nöthig, ſie auf den oben erwähnten Grad zu concen-

triren. Dieß geschieht zunächst in flachen Bleipfannen, wo man durch Erwärmen das Wasser so weit verdampft, daß beiläufig das dritte Hydrat entsteht. Die weitere Concentration geschieht, um die von nun an sich verflüchtigende Säure wieder zu gewinnen und ihre lästigen Dämpfe zu condensiren, in einer aus Platin construirten Destillirblase, wo man sie so lange erwärmt, bis eine Säure von oben erwähnter Zusammensetzung und einem spec. Gew. von 1,82 zurückbleibt. Dann entleert man die Blase mittelst eines nach Art der Liebig'schen Kühler gekühlten Hebers und läßt die rasch kalt gewordene Säure gleich in die zur Versendung bestimmten Flaschen fließen.

Weitere Oxydationsstufen des Schwefels.

Die übrigen Oxydationsstufen des Schwefels zeigen eine ziemlich complicirte Zusammensetzung und finden sich nirgends in der Natur. Mit Ausnahme der unterschwefligen Säure, welche man bis jetzt nicht isolirt hat, sind es farb- und geruchlose Flüssigkeiten, die sich, namentlich beim Erwärmen, leicht zersetzen. Ihre Namen und Formeln genügen hier. Unterschweflige Säure (dithionige Säure) S_2O_2; Unterschwefelsäure (Dithionsäure) S_2O_5; Trithionsäure S_3O_5; Tetrathionsäure S_4O_5; Pentathionsäure S_5O_5.

Schwefelwasserstoff.

Schwefelwasserstoff. Die Bildung dieses Körpers findet unter sehr mannigfaltigen Verhältnissen statt. Er erinnert dießfalls, sowie hinsichtlich seiner Zusammensetzung an das Wasser. Seine Formel ist: HS. Erhitzt man Schwefel im Wasserstoffgas, so entstehen nur Spuren der Verbindung. Leitet man über gewisse Schwefelmetalle in der Glühhitze Wasserdampf, so tritt Doppelzersetzung ein und es bildet sich Metalloxyd und Schwefelwasserstoff. Solche Schwefelmetalle geben auch bei Gegenwart von Schwefelsäurehydrat statt Wasserstoff die Schwefelverbindung desselben, wie z. B. einfach Schwefeleisen, welches auch in der Regel zur Darstellung des Gases dient: $HO,SO_3 + FeS = FeO,SO_3 + HS$. Schwefelhaltige organische Substanzen entwickeln beim Faulen, zuweilen auch beim bloßen Erhitzen, ebenfalls Schwefelwasserstoff. Es ist ein farbloses coërcibles Gas, welches einen höchst unangenehmen Geruch besitzt, an der Luft angezündet mit blauer Flamme zu Wasser und schwefliger Säure verbrennt, ein spec. Gew. von 1,91 hat und vom Wasser zu 2,5 Volum absorbirt wird. Das so gebildete Schwefelwasserstoffwasser wird bei Zutritt der Luft zerlegt, indem sich der Wasserstoff oxydirt und der Schwefel als Schwefelmilch abscheidet. Der Wasserstoff ist überhaupt in dieser Verbindung ziemlich lose gebunden und tritt sehr leicht an andere Körper, wie Chlor, Brom u. s. w., wenn diese mit Schwefelwasserstoff zusammenkommen. Auch ein fünffach Schwefelwasserstoff HS_5 ist als eine ölartige gelbe, höchst übelriechende Flüssigkeit bekannt.

Schwefelkohlenstoff.

Schwefelkohlenstoff liefert uns das erste Beispiel einer Sulfosäure, welche, wie wir bereits Seite 437 angeführt, in höherer Temperatur durch direkte Vereinigung erzeugt werden kann und in ihrer Zusammensetzung CS_2, genau der Kohlensäure entspricht. Der Schwefelkohlenstoff wird deßhalb auch Sulfocarbonsäure genannt. Er bildet sich zudem bei der trockenen Destillation schwefelhaltiger organischer Substanzen und ist eine farblose bewegliche, das Licht stark brechende Flüssigkeit, welche bei 48° siedet, einen unangenehmen Geruch verbreitet, ein spec. Gewicht von 1,293 zeigt, sich im Wasser nicht löst aber mit Weingeist und Aether leicht mischen läßt. Der Schwefelkohlenstoff verbrennt an der Luft mit blaßblauer Flamme zu Kohlensäure und schwefliger Säure, löst sehr reichlich Schwefel und Phosphor, sowie auch Kautschuk und Gutta-Percha auf und wird namentlich, um letztere

Digitized by Google

Körper in Lösung zu führen, häufig verwendet. Man erzeugt ihn in chemischen Fabriken, indem man in Röhren oder anderen passenden Gefäßen zu heftigem Glühen erhitzte Kohle durch zeitweiliges Eintragen von Schwefel mit den Dämpfen desselben in Wechselwirkung bringt und das Produkt in gut gekühlten Vorlagen condensirt.

Selen.

Selen gleicht in den meisten Beziehungen dem Schwefel, welchen es auch nicht selten bei seinem natürlichen Vorkommen begleitet. Man trifft es vorzugsweise in Verbindung mit Blei, Kupfer und Eisen und hat auch bei diesem Elemente mehrere allotropische Modificationen beobachtet. Bei raschem Abkühlen von flüssigem Selen bildet es eine dunkelroth durchscheinende Masse, wird es dagegen langsam erkalten gelassen, so hat es nach dem Erstarren ein mehr metallisches Aussehen, ist bleigrau und von körnigem Bruch. An der Luft erhitzt, verbrennt es gleich dem Schwefel, verbreitet einen rettigartigen eigenthümlichen Geruch und bildet die der schwefligen Säure entsprechende selenige Säure, SeO_2, eine krystallisirbare flüchtige Substanz, deren Dämpfe gelbgrün gefärbt sind. Durch kräftigere Oxydationsmittel läßt sich die Selensäure, SeO_3, hervorbringen, welche in den meisten Beziehungen die analog zusammengesetzte Schwefelsäure nachahmt.

Tellur.

Tellur findet sich sehr spärlich in der Natur, in geringer Menge unverbunden, sonst in seltenen Mineralien (Blättererz, Tellurwismuth, Schrifterz) mit Gold, Silber, Wismuth oder Blei. Das äußere Aussehen dieses Elementes erinnert ganz an die Metalle. Es ist weiß, metallglänzend, krystallisirt in Formen des drei- und dreigliedrigen Systems, hat ein spec. Gew. von 6,244, wird in schwacher Glühhitze flüssig, bei höherer Temperatur siedet es und liefert einen gelben Dampf. Trotz dieser Verschiedenheiten erinnert sein chemischer Charakter sehr an Schwefel. Gleich diesem verbrennt es beim Erhitzen an der Luft mit blauer Flamme zu einer der schwefligen Säure entsprechenden Verbindung, der tellurigen Säure TeO_2, einer farblosen krystallinischen Substanz. Auch liefert das Tellur eine der Schwefelsäure analoge Verbindung, die Tellursäure, TeO_3, welche auch krystallisirt erhalten werden kann. Tellur und Selen vereinigen sich unter übrigens ganz ähnlichen Umständen, wie Schwefel mit Wasserstoff, zu übelriechenden, gasförmigen Substanzen.

Phosphor.

Phosphor gehört zu den verbreitetsten und einflußreichsten Elementen. Er findet sich in der unorganischen Welt mit Ausnahme einiger Meteoreisenmassen, wo er als Phosphoreisen auftritt, ausschließlich als Phosphorsäure in Verbindung mit verschiedenen Basen, vorzüglich aber mit Kalk; gleich dem Schwefel nimmt er aber auch in unoxydirtem Zustande an der Zusammensetzung einiger wichtiger organischer Verbindungen Theil. Beim Phosphor beobachten wir ebenfalls mehrere allotropische Modificationen. Gewöhnlich stellt er einen farblosen oder schwach gelblich gefärbten, weichen, biegsamen und durchsichtigen Körper dar, welcher unter Null spröde ist, bei 44^0 zu einer wasserhellen beweglichen Flüssigkeit schmilzt und bei 290^0 siedet. Sein spec. Gew. beträgt 1,83. An der Luft leuchtet er aus gleich näher zu erörternden Gründen und wird vom Wasser nicht gelöst. Flüssige Fette,

Modificationen des Phosphors.

Digitized by Google

viele Kohlenwasserstoffe, Weingeist und Aether nehmen ihn dagegen, obwohl spärlich, auf, reichlich aber Schwefelkohlenstoff, Phosphorchlorür und Schwefelphosphor, welche ihn beim Verdampfen auch in Dodekaëdern und Octaëdern des regulären Systems auskrystallisiren lassen. In gelinder Wärme oder beim Reiben entzündet er sich an der Luft und verbreitet stets einen unangenehmen Geruch nach phosphoriger Säure. Einen eigenthümlichen Gegensatz zu dieser gewöhnlichen Modification des Phosphors bildet der rothe Phosphor, welcher bei längerer Einwirkung des Lichtes aus dem gewöhnlichen entsteht oder, noch leichter und reichlicher, falls man letzteren durch längere Zeit bei Abschluß der Luft einer Temperatur von 250° aussetzt. Er bildet dann eine spröde braunrothe Masse von dunkelgrauem muschligen Bruch, die sich im Vergleich mit dem gewöhnlichen Phosphor sehr indifferent verhält, an der Luft weder leuchtet noch riecht, in Schwefelkohlenstoff ganz unlöslich ist und ein spec. Gewicht von 2,1 hat. Wird der rothe Phosphor auf 261° erhitzt, so geht er wieder in den gewöhnlichen über. Auch einen schwarzen Phosphor hat man durch rasches Abkühlen des Geschmolzenen erhalten.

Reibzündhölzchen.

Der Phosphor findet bekanntlich bei Anfertigung der Reibzündhölzchen, wo er fein vertheilt und mit pulverförmigen starren Körpern gemengt, mittelst eines bindenden Körpers, wie Leim- oder Gummilösung, zu einem Brei angemacht und so an die Spitze der Hölzchen durch Eintauchen befestigt, nach dem Austrocknen beim Reiben sich leicht entzündet, eine sehr ausgedehnte Anwendung. Auch dient er als Vertilgungsmittel für Mäuse u. dergl., endlich wird er in den chemischen Laboratorien vielseitig benutzt. Man stellt ihn ausschließlich durch Reduction der Phosphorsäure, PO_5, mittelst Kohle in hoher Temperatur dar und verwendet als Material den in den Knochen der Säugethiere vorfindlichen phosphorsauren Kalk, welcher aus 3 Atomen Kalk auf 1 Atom Phosphorsäure besteht. Die Knochen werden zuerst bei Luftzutritt so lange gebrannt, bis die leimgebende Substanz (siehe Seite 463) völlig beseitigt ist. Man erhält so die sogenannte Knochenerde, Knochenasche, worin sich etwa 80 % des genannten Kalksalzes, im Uebrigen 7 % kohlensaurer Kalk und ferner Bittererde, Kochsalz u. s. w. vorfinden. Nachdem dieses Gemenge fein gepulvert worden, erwärmt man es mit einer entsprechenden Quantität Schwefelsäure, welche 2 Atome Kalk von der Knochenerde als schwefelsaures schwerlösliches Salz abtrennt und dadurch die Bildung eines Salzes von der Formel: CaO,PO_5 veranlaßt, welches im Wasser löslich ist, während sich der Gyps größtentheils abscheidet. Man filtrirt von diesem die Flüssigkeit ab, dampft sie bis zur Syrupsconsistenz ein, vermischt sie hierauf mit Holzkohlenpulver, trocknet sie in gußeisernen Kesseln sehr scharf aus und bringt sie hierauf in thönerne Retorten, die allmälig bis zum Weißglühen erhitzt werden. Dadurch findet eine Reduction von zwei Drittel der vorhandenen Phosphorsäure unter gleichzeitiger Bildung von Kohlenoxyd und Kohlensäure statt; der Phosphor entweicht dampfförmig und im Rückstande bleibt wieder ein Salz von der Zusammensetzung der Knochenerde: $3(CaO, PO_5) - 10O = 3CaO, PO_5 + 2P$. Die Vorlage ist dabei so eingerichtet, daß der Phosphor sich unter Wasser ansammeln muß und somit vor der Verbrennung geschützt ist, während die Gase durch das Wasser ungehindert entweichen. Schließlich wird der Phosphor unter warmem Wasser durch sämisch gegerbtes Leder gepreßt und so von den mechanischen Verunreinigungen befreit.

Darstellung des Phosphors.

Daß der Phosphor eine große Verwandtschaft zum Sauerstoff habe,

Digitized by Google

geht aus Obigem hervor. Sein Leuchten an der Luft ist Folge einer allmäligen Oxydation, indem sich phosphorige Säure bildet, welche selbst wieder weiter unter Sauerstoffaufnahme leuchtet und in Phosphorsäure übergeht. Es ist merkwürdig, daß in reinem Sauerstoffe dieses Leuchten bei höherem Drucke nicht stattfindet, dagegen rasch in verdünntem Sauerstoff eintritt. Die Beimengung von Schwefelwasserstoff, Chlor, Weingeist-Dampf und anderen Gasen verhindert das Leuchten, während dagegen diese Erscheinung sich in manchen Gasen wie Kohlensäure wahrnehmen läßt, wenn nur eine Spur von Sauerstoff denselben beigemengt ist. Man kann die phosphorige Säure, PO_3, im wasserfreien Zustande als eine farblose, pulverförmige, flüchtige, unangenehm knoblauchartig riechende Masse erhalten, wenn man Phosphor bei beschränktem Luftzutritte verbrennt. Mit Wasser vereinigt sich dieses Produkt sehr energisch zu einem krystallisirbaren Hydrat: $PO_3, 3HO$, welches an der feuchten Luft zerfließt und überhaupt sehr löslich ist.

Leuchten des Phosphors.

Phosphorige Säure.

Weitaus wichtiger als die vorhergehende Säure ist die Phosphorsäure, PO_5. Beim Verbrennen des Phosphors unter reichlichem Sauerstoffzutritt erhält man sie wasserfrei als eine geruchlose, farblose, schmelzbare, in starker Hitze flüchtige Masse, die begierig Feuchtigkeit aus der Luft anzieht und so in Hydrat übergeht, welches sich leicht im Wasser löst. Hat man die Lösung einige Zeit gekocht, so finden wir darin die gewöhnliche Phosphorsäure $cPO_5, 3HO$, welche sich aus stark concentrirten Lösungen auch in farblosen prismatischen Krystallen des zwei- und zweigliedrigen Systems erhalten läßt. Diese Modification der Säure ist es auch, welche natürlich vorkömmt. Sie ist uns das erste Beispiel der häufig auftretenden mehrbasischen Säuren, welche zur Bildung neutraler Salze, von dem oben angeführten Gesetze abweichend, in der Base mehr als 1 Atom Sauerstoff in Anspruch nehmen. Die gewöhnliche Phosphorsäure ist dreibasisch, d. h. also in ihren neutralen Salzen sind auf 1 Atom Säure 3 Atome Sauerstoff in der Base vorhanden. Sie liefert somit, abgesehen von den basischen Salzen, drei Reihen Salze, welche, wenn wir MO als allgemeinen Ausdruck für die Base annehmen, durch folgende Formeln repräsentirt sind: $2HO, MO, cPO_5$ — $HO, 2MO, cPO_5$ — $3MO, cPO_5$. Letzteres Salz ist das neutrale, die beiden vorhergehenden sind ein- und zweibasisch saure; mit Ausnahme weniger Metalloxyde sind die dem ersten und zweiten Typus entsprechenden c phosphorsauren Salze in Wasser schwer oder gar nicht löslich. Erwärmt man das gewöhnliche Phosphorsäurehydrat auf 200^0, so geht es unter Abgabe von 1 Atom Wasser in die sogenannte Pyro-Phosphorsäure, b Phosphorsäure über, welche 2basisch ist und die Formel: $bPO_5, 2HO$ hat. Diese liefert mit den Basen nur zwei Reihen von Salzen: HO, MO, bPO_5 und $2MO, bPO_5$, welche Salze sich in ihrer äußeren Beschaffenheit von denen der c Phosphorsäure wesentlich unterscheiden. Hat man c oder b Phosphorsäurehydrat bis zum schwachen Glühen erhitzt, so bleibt eine glasartige geschmolzene Masse zurück, welche eine dritte Modification der Phosphorsäure, die einbasische Metaphosphorsäure, a Phosphorsäure vorstellt. Sie bildet neutrale Salze, welche bloß 1 Atom Sauerstoff in der Base auf 1 Atom Säure enthalten: MO, aPO_5, und kann übrigens in mehreren sehr merklich verschiedenen Abänderungen erhalten werden.

Phosphorsäure.

Die gewöhnliche Phosphorsäure bereitet man in der Regel durch Erwärmen von Phosphor mit Salpetersäure, wobei ersterer sich zunächst in ein Gemenge von phosphoriger Säure und Phosphorsäure umwandelt, welches bei längerem Erwärmen vollends zur c Phosphorsäure wird.

Digitized by Google

Außer diesen Verbindungen des Sauerstoffs kennt man noch die unterphosphorige Säure PO als eine syrupdicke geruchlose Flüssigkeit und das Phosphoroxyd P_2O, welches einen rothen pulverförmigen Körper vorstellt.

Phosphorwasserstoff.

Mit Wasserstoff vereinigt sich Phosphor zu drei verschiedenen Verbindungen, wovon die eine, das Phosphorwasserstoffgas H_3P, am reinsten durch Erwärmen einer weingeistigen Lösung von Kalihydrat mit Phosphor unter gleichzeitiger Bildung von unterphosphorigsaurem Kali erhalten wird: $3(HO, KO) + 4P = 3(KO, PO) + H_3P$. Es stellt ein farbloses, schon bei 100° sich entzündendes, unangenehm eigenthümlich riechendes Gas von 1,85 spec. Gew. dar. Wird Phosphorcalcium, Ca_2P, welches man durch Glühen von Kalk unter Zuleitung von Phosphordämpfen mit phosphorsaurem Kalk gemengt gewinnt, mit Wasser zusammengebracht, so bildet sich unter Wasserzerlegung Calciumoxyd CaO und flüssiger Phosphorwasserstoff H_2P. Dieser ist ungemein flüchtig, verbrennt an der Luft, selbst in sehr niedriger Temperatur, ist also, wie man zu sagen pflegt, selbst-entzündlich und zerlegt sich namentlich bei Gegenwart von Säuren ungemein leicht in Phosphorwasserstoffgas und starren Phosphorwasserstoff HP_2. ($5H_2P = 3H_3P + HP_2$). Letzterer bildet einen gelben flockigen Körper. Kleine Beimengungen des selbstentzündlichen flüssigen Phosphorwasserstoffs veranlassen auch die Selbstentzündlichkeit des Phosphorwasserstoffgases.

Schwefelphosphor.

Mit Schwefel vereinigt sich der Phosphor in Verhältnissen, welche den Oxydationsstufen des Letzteren entsprechen und als Sulfosäuren, mit Ausnahme der niedrigsten Schwefelungsstufe, den Sauerstoffsäuren des Phosphors sehr nahe stehen.

Arsenik.

Arsen findet man gediegen in der Natur als Scherbenkobalt, Fliegenstein, zudem werden Schwefelverbindungen desselben theils für sich, theils als Sulfosäuren mit basischen Schwefelmetallen vereinigt, dann Arsenmetalle, endlich arsenige und Arsensäure, letztere immer nur als Salz, gefunden. Dieses Element ahmt in den meisten Beziehungen den Phosphor nach, obwohl sein äußeres Aussehen sehr an das der Metalle erinnert. Es ist zinnweiß, glänzend, sehr spröde, krystallisirt im drei- und dreigliedrigen Systeme, hat ein spec. Gew. von 5,672, verflüchtigt sich in schwacher Glühhitze, ohne früher zu schmelzen und liefert dabei einen intensiv nach Knoblauch riechenden Dampf. Es wird theils als Gift, theils zur Herstellung verschiedener Metallmischungen (Legirungen) benutzt und deßhalb, wo es gediegen vorkommt, gesammelt oder mittelst Sublimiren aus thönernen Retorten aus Arsenikkies ($FeAs + FeS_2$) und dem Arsenikkalkies (FeAs) gewonnen, welche beide beim Erhitzen Arsendämpfe abgeben. An der Luft verliert Arsenik bald seinen Metallglanz, indem es sich an der Oberfläche mit Arsensuboxyd überzieht, dessen Zusammensetzung jedoch nicht mit Gewißheit ermittelt ist. Beim Erhitzen verbrennt es an der Luft mit blaßblauer Flamme zu arseniger Säure AsO_3, welche natürlich als Arsenikblüthe in octaedrischen Krystallen vorkömmt. Sie verflüchtigt sich in mäßiger Hitze, ohne zuvor zu schmelzen und condensirt sich bei raschem Abkühlen zu kleinen Krystallen, welche sich im Wasser ziemlich schwierig lösen und ungemein giftig sind. Ihre vielseitige Verwendung für mannigfaltige Zwecke bedingt deren Darstellung im Großen aus dem Arsenkies und Arsenikkalkies auf den sogenannten Gifthütten. Dort werden die Erze auf der Soole eines Muffelofens ausgebreitet und allmälig unter öfterem Wenden

Arsenige Säure.

Digitized by Google

und reichlichem Zutritt der Luft bis zum Glühen erhitzt, wobei der Sauerstoff die Bildung von arseniger und schwefliger Säure veranlaßt, welche sich verflüchtigen, während Eisenoxyd zurückbleibt. Die Einrichtung des Ofens bedingt, daß die flüchtigen Produkte von dem nachdringenden Luftstrome in einen längeren gemauerten Canal und von da in mehrere mit einander communicirende Kammern (den Giftthurm) gelangen, wo sich die arsenige Säure zu kleinen pulverförmigen Kryställchen condensirt und ablagert. Sie bildet so das Giftmehl und muß noch raffinirt werden, um als Handelswaare dienen zu können. Zu diesem Behufe sublimirt man sie aus eisernen Kesseln, über welchen mehrere eiserne Kränze und schließlich eine derlei Haube, aus welcher eine Röhre in Condensationskammern führt, aufgesetzt sind. Beim Erhitzen des Kessels werden die erwähnten Kränze so warm, daß die arsenige Säure sich dort nicht krystallinisch, sondern als eine halb geschmolzene glasartige Masse verdichtet, welche das weiße Arsenikglas oder die glasige, amorphe arsenige Säure vorstellt. Bei längerem Liegen aber verwandelt sich dieses Produkt in ein Aggregat von kleinen Krystallen, welches dann eine undurchsichtige porzellanartige Masse von muschligem Bruch bildet.

Arsensäure.

Die Arsensäure, Arsenikſäure AsO_5 ahmt in ihrer Zusammensetzung und chemischen Beschaffenheit die c Phosphorsäure vollständig nach. Sie bildet wasserfrei eine glasartige Masse und zieht leicht Feuchtigkeit aus der Luft an, wobei das krystallisirbare Arsensäurehydrat: $AsO_5, 3HO$ entsteht, welches dreibasisch ist.

Arsenwasserstoff.

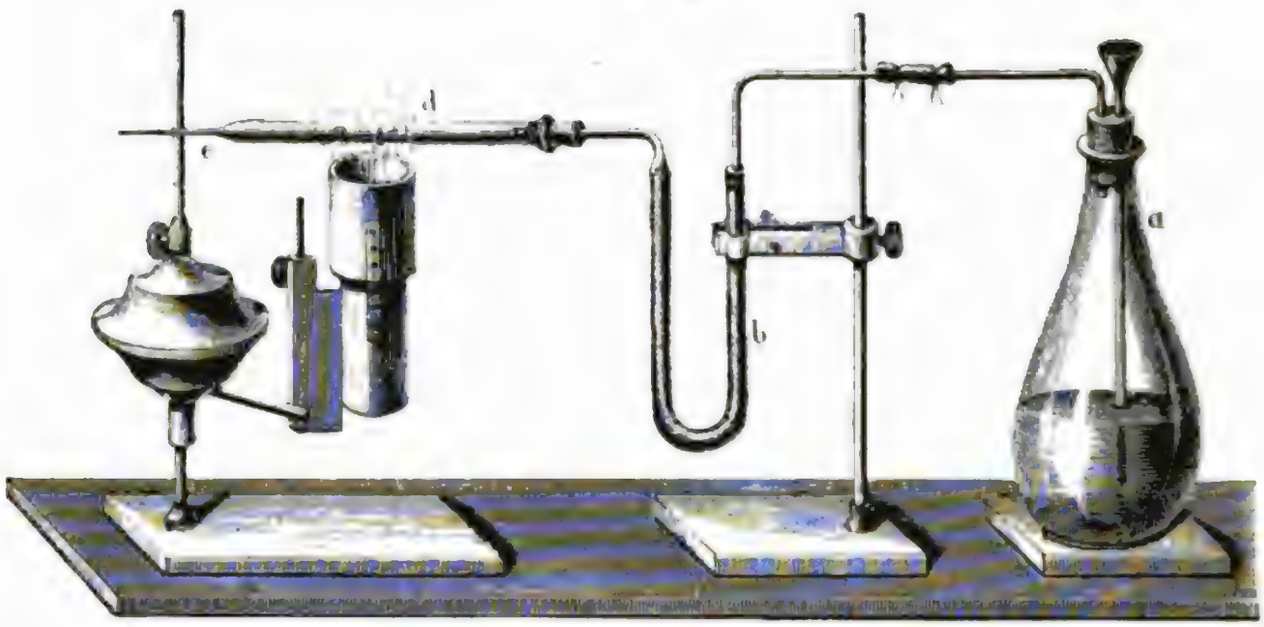
Arsenwasserstoff H_3As entsteht, wenn Wasserstoff mit Arsen oder arseniger Säure im Entstehungsmomente zusammentrifft. Bringt man daher in eine Gasentwicklungsflasche, wo Zink und Schwefelsäure die bekannte Wirkung (Seite 448) auf einander äußern, Arsen oder arsenige Säure, so mischt sich dem Wasserstoff in entsprechender Menge Arsenwasserstoffgas bei. Ist Arsen so reichlich vorhanden, daß es genügt, sämmtlichen Wasserstoff zu binden, so erhält man reinen Arsenwasserstoff als ein farbloses, unangenehm riechendes, coërcibles Gas, welches ungemein giftig ist. Tritt es aus einer engen Mündung und wird es dann angezündet, so verbrennt es mit einer schwach leuchtenden Flamme, welche auf eine hineingehaltene Porzellanplatte metallisches Arsenik absetzt. In der Glühhitze zerfällt nämlich das Gas in Arsen und Wasserstoff.

Ausmittlung von Arsenvergiftungen.

Letzteres Verhalten benutzt man mit Erfolg zur Nachweisung kleiner Mengen von Arsenik bei Vergiftungsfällen. Die fraglichen Substanzen, welche auf einen Gehalt an Arsen geprüft werden sollen, pflegt man vorerst durch Erwärmen mit concentrirter Schwefelsäure zu verkohlen, wobei sich alle anwesenden organischen Stoffe derartig verändern, daß sie das sich etwa entwickelnde Arsenwasserstoffgas nicht weiter verunreinigen können. Dann übergießt man sie mit Wasser, welches neben freier Schwefelsäure die arsenige Säure auflöst, und bringt die abfiltrirte Flüssigkeit in eine Gasentwicklungsflasche a Fig. 259, in welcher sich bereits Zink und verdünnte Schwefelsäure befinden, die eine reichliche Entwicklung von Wasserstoff veranlassen. Dieser geht zunächst durch das U-förmige Rohr b, wo sich Chlorcalcium befindet, welches das Gas austrocknet und von da in eine engere Glasröhre d, welche in eine feine Spitze ausgezogen ist und beiläufig in der Mitte durch eine Weingeistlampe zum Glühen erhitzt wird. Bald nachdem die arsenhaltige Flüssigkeit in a eingebracht wurde, ist dem Wasserstoff auch Arsenwasserstoff beigemengt, welches in der Röhre d zerlegt, dann eine spiegelnde Ablage-

Digitized by Google

(Fig. 259.)



rung von Arsen bei e veranlaßt, deren Prüfung weiter das Vorhandensein des Giftes außer allen Zweifel zu setzen geeignet ist.

Schwefelarsen.

Mit Schwefel verbindet sich Arsen in mehreren Verhältnissen. Man kennt das zweifach Schwefelarsen AsS_2, welches als Realgar der Mineralogen natürlich auftritt und künstlich durch Zusammenschmelzen von Schwefel und Arsen im richtigen Verhältnisse leicht erhalten werden kann. Es hat eine schöne rothe Farbe, ist ohne Zersetzung flüchtig, verbindet sich mit basischen Schwefelmetallen zu Sulfosalzen und findet als Malerfarbe Anwendung. Das dreifach Schwefelarsen AsS_3, als Auripigment, Rauschgelb, natürlich vorkommend, läßt sich in ähnlicher Weise darstellen wie Realgar. Man kann es auch bereiten, wenn man eine Lösung von arseniger Säure der Einwirkung eines Stromes von Schwefelwasserstoff aussetzt, wobei der Wasserstoff des Letzteren mit dem Sauerstoff der arsenigen Säure Wasser bildet, der Schwefel sich mit dem Arsen vereinigt und die Arsenverbindung in Gestalt eines gelben flockigen Niederschlags sich abscheidet. $AsO_3 + 3HS = AsS_3 + 3HO$. Das fünffach Schwefelarsen AsS_5, der Arsensäure correspondirend, wird aus letzterer durch Einwirkung von Schwefelwasserstoff in ganz ähnlicher Weise erhalten, ist ebenfalls gelb und gleich den beiden vorhergehenden Verbindungen eine Sulfosäure. Die eben erwähnte Wirkung des Schwefelwasserstoffs beobachten wir übrigens in vielen Fällen, wo er mit Oxyden zusammenkommt und durch Doppelzersetzung Wasser und eine andere Schwefelverbindung liefert. Manche Metalloxyde werden sogar in diesem Sinne umgewandelt, wenn sie als Salze mit Schwefelwasserstoff in Berührung kommen, wobei sich dann Schwefelmetall bildet, während das neu entstandene Wasser an die Säure tritt und so deren Hydrat hervorbringt.

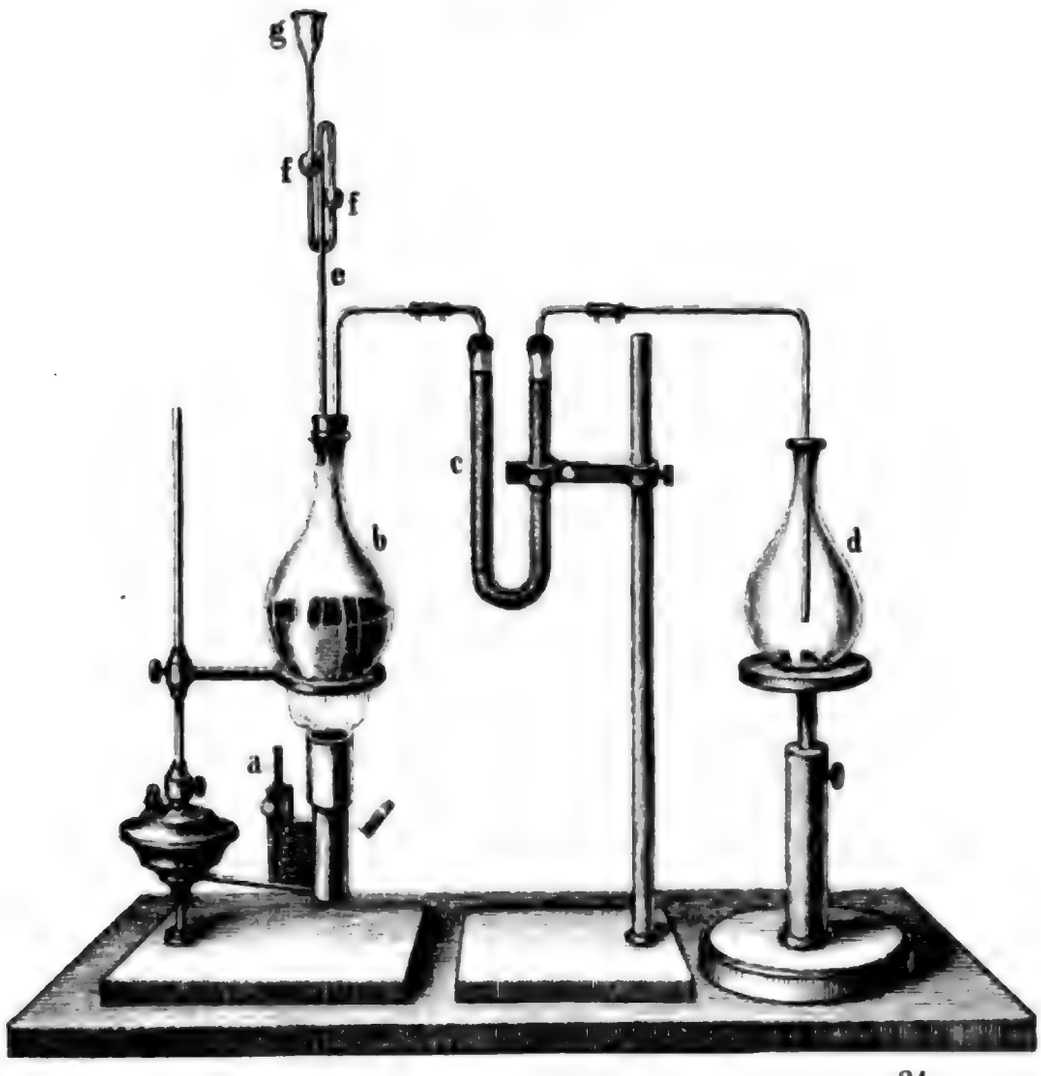
Chlor.

Dieses Element gehört zu den wichtigsten und merkwürdigsten, findet sich aber nie unverbunden in der Natur, dagegen, namentlich als Chlornatrium (unser gewöhnliches Kochsalz) außerordentlich verbreitet, hie und da zugleich in sehr großen Massen. Andere Chlorverbindungen trifft man

nur spärlich in der Natur. Das Chlor bildet ein coërcibles, gelbgrünes Gas von höchst unangenehmem erstickendem Geruch und einem spec. Gew. von 2,44. Beim Einathmen wirkt es sehr schädlich und bringt leicht Bluthusten hervor. Von Wasser wird es zu 2 Raumtheilen desselben absorbirt und ertheilt demselben die ihm eigenthümliche Farbe. Das Chlorwasser, wie die Lösung genannt wird, scheidet bei 0^0 eine gelbe krystallinische Verbindung des Chlors mit Wasser, das Chlorhydrat: $Cl + 10HO$ ab. Das Chlor wirkt auf viele gefärbte organische Substanzen rasch zerstörend ein und bleicht sie; auch zersetzt es faulende miasmatische Körper in der Weise, daß diese aufhören gesundheitsschädlich zu sein und wird deshalb vielseitig angewendet, abgesehen von der mannigfaltigen Benützung, welcher man dieses Element in den chemischen Laboratorien, behufs der Darstellung zahlreicher Verbindungen u. s. w. zuführt. Man stellt es allgemein durch Einwirkung von Braunstein auf Chlorwasserstoff (Salzsäure) dar. Der Braunstein ist Mangansuperoxyd: MnO_2. Sobald er mit wässrigem Chlorwasserstoff zusammen kömmt, bilden sich Manganchlorür, Wasser und freies Chlor: $MnO_2 + 2HCl = MnCl + 2HO + Cl$. Statt den Chlorwasserstoff unmittelbar anzuwenden, mengt man häufig Schwefelsäure, Kochsalz und Braunstein und erwärmt in allen Fällen. Schwefelsäure und Kochsalz liefern, wie wir bald näher erörtern wollen, schwefelsaures Natriumoxyd und Chlorwasserstoff, welches nun seinerseits die schon bekannte Wirkung auf das Mangansuperoxyd äußert. Will man das

Darstellung des Chlors.

(Fig. 200.)



Digitized by Google

Gas im trocknen Zustande sammeln, so kann man sich des pneumatischen Apparates füglich nicht bedienen, da als Sperrflüssigkeit weder Wasser noch Quecksilber anwendbar sind. Letzteres, weil es sich sogleich mit dem Chlor verbindet; ersteres, weil es das Gas feucht macht. Man pflegt deshalb das Gas geradezu auf den Boden eines entsprechenden, mit Luft gefüllten Gefäßes zu leiten, wo es allmälig die Luft wegen seiner größeren specifischen Schwere verdrängt und das Gefäß vollständig ausfüllt. Fig. 260 versinnlicht die Anordnung eines solchen Apparates. In dem Kolben b, dessen Erwärmung die Weingeistlampe a gestattet, befindet sich entweder Braunstein oder dieser mit Kochsalz gemengt. Durch den Welter'schen Trichter e kann man dann entweder flüssige Salzsäure oder verdünnte Schwefelsäure eintragen. Es entwickelt sich das Gas, welches in c durch Chlorcalium getrocknet, dann in den Kolben d gelangt. Die Einrichtung des Sicherheitstrichters ist eben so einfach als sinnreich, indem wir mittelst desselben zunächst bei g, in beliebigen Zeitabschnitten, Flüssigkeit eintragen können, ohne den Apparat auseinander zu nehmen und ohne daß dabei eine Communication mit der äußeren Luft hergestellt würde, denn immer bleibt unter den beiden Glaskugeln f, in der Biegung des Rohres, etwas Flüssigkeit und sperrt so den Apparat an dieser Stelle ab. Wenn nun, was freilich in dem gegenwärtigen Falle nicht eintreten kann, die Gasentwicklung so stürmisch wird, daß das Gas bei dem ihm zugewiesenen Ausweg nicht mehr vollständig zu entweichen vermag, so hebt der dadurch bedingte Druck von Innen die Sperrflüssigkeit in die rechts befindliche Kugel und das Gas tritt ungehindert auch dort aus; sobald der Druck aber aufhört, sinkt die Sperrflüssigkeit wieder in die Röhre zurück. Dasselbe, nur im entgegengesetzten Sinne, findet statt, wenn, wie das häufig geschieht, das Gas im Innern des Apparates zu rasch absorbirt wird und somit dort ein luftverdünnter Raum entsteht. Dann drückt von Außen die Luft die Sperrflüssigkeit in die links gestellte Kugel, dringt in das Gasentwicklungsgefäß und stellt dort das Gleichgewicht wieder her. Das Chlor ist mit sehr mächtigen Affinitäten ausgestattet, es verbindet sich fast mit allen Elementen direkt in gewöhnlicher Temperatur, besonders wenn Sonnenlicht es trifft, wobei es in einen dem Ozon entsprechenden Zustand erregter Verwandtschaft versetzt wird. Zu Sauerstoff äußert es weniger Verwandtschaft und läßt sich mit diesem eben so wenig, wie mit Kohlenstoff und Stickstoff, direkt vereinigen, während es sich mit Wasserstoff, Schwefel, Selen, Tellur, rasch unmittelbar verbindet. Doch ist eine größere Reihe von Oxydationsstufen des Chlors bekannt und zwar: die unterchlorige Säure ClO, chlorige Säure ClO_3, Unterchlorsäure ClO_4, Chlorsäure ClO_5, Ueberchlorsäure ClO_7, und zudem noch Verbindungen von Chlorsäure und Ueberchlorsäure mit chloriger Säure. Alle diese Oxydationsstufen sind wenig beständig, zersetzen sich selbst in ihren Salzen beim Erhitzen sehr leicht, geben ihren Sauerstoff unmittelbar oder an andere Körper in vielen Fällen ab und explodiren dabei nicht selten.

Sauerstoffverbindungen des Chlors.

Die Wichtigsten sind die unterchlorige Säure und Chlorsäure. Erstere entsteht, wenn Chlor mit kräftigeren Basen, wie Kaliumoxyd, in wässriger Lösung zusammentrifft und Erwärmung vermieden wird. Die Verbindung wird nur vermöge der großen Verwandtschaft zu Stande gebracht, welche das Chlor zu den Metallen äußert. Es verdrängt demnach den Sauerstoff aus einem Theile der Base, bildet so Chlormetall, während der Sauerstoff sich mit Chlor zu unterchloriger Säure vereinigt, die sich dann weiter mit noch

Unterchlorige Säure.

Digitized by Google

unveränderter Base verbindet: $2Cl + 2KO = KCl + KO, ClO$. Findet aber Erwärmen bei dieser Einwirkung statt, so entsteht viel mehr Chlormetall, dagegen aber chlorsaures Salz: $6Cl + 6KO = 5KCl + KOClO_5$. Die unterchlorige Säure hat man auch im isolirten Zustande als eine blutrothe, schon bei 20^0 siedende Flüssigkeit dargestellt, welche in gewöhnlicher Temperatur ein rothgelbes Gas liefert und sehr explodirbar ist. Sie wird vom Wasser reichlich absorbirt und wirkt kräftig bleichend. Ein Hydrat derselben ist nicht bekannt. Dagegen hat man die Chlorsäure nur als stark concentrirte wässrige Lösung ihres Hydrats, in Gestalt einer farb- und geruchlosen, leicht zerlegbaren sauren Flüssigkeit abzuscheiden vermocht. Die beständigste Sauerstoffverbindung des Chlors ist merkwürdigerweise die Ueberchlorsäure, deren Hydrat krystallisirbar ist und zum Theil sich unverändert verflüchtigen läßt. Die übrigen Oxydationsstufen nähern sich in ihrer Beschaffenheit der unterchlorigen Säure.

Chlorwasserstoff.

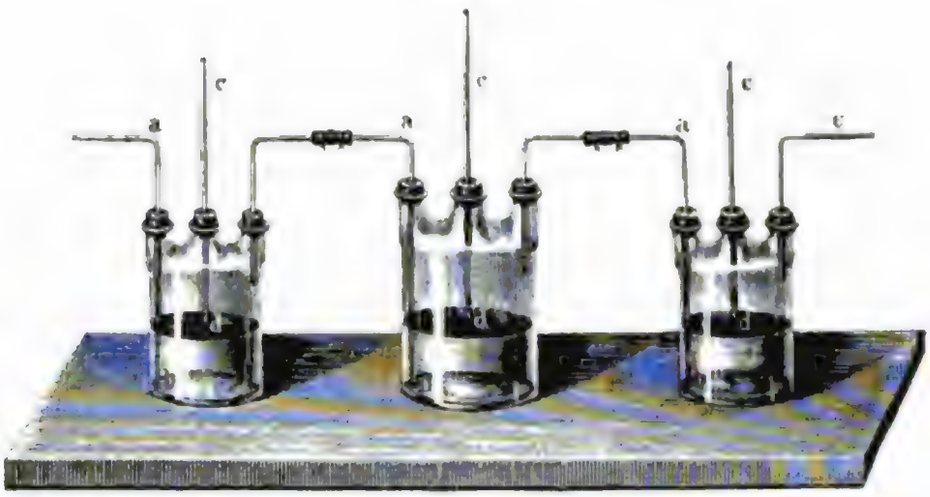
Zu Wasserstoff äußert Chlor eine sehr mächtige Affinität, welche besonders durch das Licht sehr gesteigert wird. Die beiden Körper zu gleichen Raumtheilen im Dunkeln zusammengebracht, wirken gar nicht auf einander, allein sobald das Gemenge ans Licht gelangt, tritt die Vereinigung mit einer heftigen Explosion ein; dasselbe findet unmittelbar statt, wenn das Chlor vorher dem Lichte ausgesetzt gewesen und hierauf im Dunkeln mit Wasserstoff in Berührung kommt. Zudem vermag das Chlor vielen Verbindungen den Wasserstoff zu entziehen und sich damit zu vereinigen, welcher Vorgang durch das Licht ebenfalls namhaft unterstützt wird. Das Produkt HCl, dem Wasser analog zusammengesetzt, heißt Chlorwasserstoffsäure, Salzsäure, und ist ein farbloses, irrespirables, coërcibles Gas von erstickend saurem Geruch, welches nicht brennt, ein spec. Gew. von 1,247 hat, an der Luft durch Anziehung von Wasser raucht und in kleinen Quantitäten sich zuweilen vulkanischen Gasen beigemengt findet. Vom Wasser wird es in großen Mengen absorbirt. Bei 0^0 nimmt das Wasser unter namhafter Volumvermehrung nahezu 480 Raumtheile des Gases auf und bildet damit eine farblose rauchende Flüssigkeit von ätzend saurem Geschmack, welche beim Erwärmen nur einen Theil des Gases wieder abgiebt, ein spec. Gew. von 1,21 zeigt und sich mit Wasser in allen Verhältnissen zu verdünnterer Salzsäure mischen läßt. Zu ihrer Darstellung, welche im Großen und Kleinen sehr häufig vorgenommen wird, da sich das Produkt zu sehr mannigfaltigen Zwecken verwenden läßt, bedient man sich allgemein der schon oben angedeuteten Zersetzung, welche Kochsalz beim Erwärmen mit Schwefelsäurehydrat erleidet. Das Kochsalz ist Chlornatrium NaCl, mit Schwefelsäure legt es sich dergestalt um, daß der Wasserstoff des Hydratwassers sich mit Chlor zu Chlorwasserstoff vereinigt und der Sauerstoff, an das Metall tretend, Natriumoxyd, eine kräftige Basis bildet, welche sich ihrerseits mit der Schwefelsäure zu schwefelsaurem Salz vereinigt: $NaCl + HO, SO_3 = HCl + NaO, SO_3$. Aehnlich wie Chlornatrium verhalten sich übrigens die meisten anderen Chlormetalle und man zieht das Kochsalz hauptsächlich seines billigen Preises und der leichten Zugänglichkeit wegen den übrigen vor. Will man das Gas als solches darstellen, so bedient man sich eines mit den obigen Substanzen beschickten Glaskolbens und fängt das Gas über Quecksilber auf.

Darstellung der Salzsäure.

Um aber die flüssige wässrige Salzsäure zu erhalten, wendet man einen Apparat an, welcher unter dem Namen Woulf'sche Flaschen in ähnlichen Fällen eine vielseitige Anwendung findet und dessen Einrichtung aus Fig. 261

Digitized by Google

(Fig. 261.)



hervorgeht. Die dreihälsigen Flaschen b, von denen man nach Bedarf eine beliebige Anzahl zusammen stellen kann, sind durch die knieförmig gebogenen Röhren a mit einander luftdicht verbunden. Diese Röhren reichen in der ersten Flasche nur in den Hals, in den folgenden bis nahe an den Boden. Der mittlere Hals nimmt ein Sicherheitsrohr c auf, welches nur wenig unter der Oberfläche der absorbirenden Flüssigkeit eingetaucht ist und ähnlich wie der Welter'sche Sicherheitstrichter wirkt, indem, wenn durch zu reichliche Gasentwickelung ein Druck von Innen nach Außen stattfindet, die absorbirende Flüssigkeit, in unserem Falle Wasser, in den Röhren steigt und falls im Gegentheile durch zu reichliche Absorption ein Druck von Außen nach Innen stattfindet, bei d leicht Luft in den Apparat treten kann. Denken wir uns nun das Rohr a der ersten links gestellten Flasche mit einer Retorte verbunden, aus welcher durch Erwärmen von Schwefelsäure mit Kochsalz reichlich Chlorwasserstoffgas entwickelt wird, so strömt dieses bei b in das Wasser und wird dort absorbirt. Der etwa nicht absorbirte Antheil gelangt durch a in die zweite Flasche und so fort, so daß auf diese Weise eine vollständige Absorption des Gases erzielt werden kann. Die letzte Flasche communicirt natürlich ungehindert durch o mit der Luft. Bei der Bereitung der Salzsäure im Großen sind ganz ähnliche Vorrichtungen aus Steinzeug im Gebrauche (siehe oben Fig. 253), nur pflegt man die Verbindungsröhren, um einen größeren Druck im Apparate zu vermeiden, nicht unter Wasser tauchen zu lassen und dagegen die Zahl der Woulf'schen Flaschen ansehnlich zu vermehren, wobei die Absorption dennoch ziemlich vollständig vor sich geht. Zur Zersetzung des Kochsalzes dient dann auch sehr häufig ein eiserner Cylinder, wie bei der Darstellung der Salpetersäure.

Die Wasserstoff-Säuren.

Im Chlorwasserstoff begegnen wir zuerst einem Körper, der entschieden den Charakter einer Säure an sich trägt, ohne Sauerstoff oder ein anderes amphigenes Element zu enthalten. Beobachten wir sein Verhalten gegen Basen, so sehen wir zunächst, wie die Säure sich mit diesen eigentlich nicht verbindet sondern zerlegt, indem sich Wasser bildet, das abgeschieden wird, während das Chlor an die Stelle des Sauerstoffs tritt, was sich, wenn man für das basische Oxyd allgemein die Formel MO annimmt, durch das Schema: $MO + HCl = HO + MCl$ versinnlichen läßt, weshalb auch gerade, wie bei der Bildung eines Sauerstoffsalzes mit einem Säurehydrat, Wasser auftritt, welches hier aber erst entsteht, während es dort nur abgeschieden

von dem basischen Oxyd gleichsam verdrängt wird. Das Produkt dieser Umsetzung ist demnach ein Chlormetall, welches sich in allen Fällen auch leicht durch direkte Vereinigung beider Elemente herstellen läßt, da das Chlor eine sehr große Verwandtschaft zu den Metallen besitzt. Die Chlormetalle bilden sich auch immer, wenn man Salzsäure mit den Metallen in Berührung bringt, falls diese die Fähigkeit besitzen, bei Gegenwart von Sauerstoffsäuren Wasser zu zerlegen, um sich als Oxyde mit den Säuren zu Salzen zu vereinigen, wie dieß Eisen, Mangan, Zink und viele andere thun. In beiden Fällen entwickelt sich dann Wasserstoff.

Haloidsalze.

Die in einer oder der anderen Weise entstandenen Chlorverbindungen sind aber in den meisten Beziehungen den Sauerstoffsalzen der Metalloxyde so ähnlich, daß sich durch das äußere Aussehen kein deutlicher Unterschied feststellen läßt, weshalb man das Chlor und einige andere Elemente, die sich ihm ähnlich verhalten, als Salzbildner, Halogene (Haloide), bezeichnet, und die salzartigen Verbindungen derselben mit den Metallen, zum Unterschiede von den Sauerstoffsalzen und anderen analogen Körpern (Sulfosalzen ꝛc.), wo sich Säuren und Basen in der Verbindung als vorhanden annehmen lassen, Haloidsalze nennt.

So groß im Uebrigen die Aehnlichkeit des chemischen Verhaltens bei den Haloiden im Vergleiche mit Sauerstoff ist, so sind diese doch nicht im Stande, Säuren oder Basen hervorzubringen, welche in ihrer Zusammensetzungsweise an die betreffenden Sauerstoffverbindungen erinnern, eben so wenig Salze, die etwa gleich den Sauerstoffsalzen in Säure und Basis einen gemeinschaftlichen Bestandtheil aufwiesen. So können wir allerdings das Chlor mit Kohlenstoff zu einer Verbindung vereinigen, die genau in ihrer Zusammensetzung der Kohlensäure entspricht, und somit die Formel CCl_2 (CO_2) hat. Allein während die Kohlensäure sich mit den basischen Metalloxyden leicht vereinigen läßt, liefert das Kohlenstoffchlorid mit den entsprechenden Chlormetallen keine Verbindung. Es ist überhaupt ganz indifferent. Ebenso verhalten sich die Verbindungen des Chlors mit Phosphor, Schwefel, Selen und anderen Elementen, welche mit Sauerstoff Säuren hervorbringen. Die Chloride derselben sind nicht im Stande, sich mit den Chlormetallen zu vereinigen.

Eine andere Eigenthümlichkeit, welcher wir bei den Haloiden, insbesondere aber beim Chlor begegnen, ist die Fähigkeit, aus vielen Wasserstoffverbindungen dieses Element, unter Bildung von Chlorwasserstoff, ganz oder theilweise abzuscheiden und zugleich an die Stelle desselben zu treten, so, daß die ursprüngliche Atomengruppe eigentlich unverändert bleibt, indem sich Chlor statt dem Wasserstoff eingelagert hat. Wir nennen diese Erscheinung Substitution, und beobachten sie namentlich bei Einwirkung des Chlors auf organische Körper, doch unterliegen derselben auch nicht selten Substanzen von sehr einfacher Zusammensetzungsweise, welche dabei die Entstehung von Verbindungen des Chlors mit Elementen veranlassen, die sich direkt durchaus nicht mit dem Chlor vereinigen.

Substitution.

So kann man den Chlorstickstoff NCl_3 durch anhaltende Einwirkung auf im Wasser gelöstes Chlorammonium erhalten. Letztere Verbindung hat die Formel: NH_4Cl, und läßt sich zusammengesetzt betrachten aus 1 Atom Ammoniak, NH_3, und 1 Atom Chlorwasserstoff. Wenn nun 6 Atome Chlor hinzutreten, entstehen 4 Atome Chlorwasserstoff und 1 Atom Chlorstickstoff, der sich bezeichnen läßt als Ammoniak, dessen Wasserstoff durch Chlor substi-

Chlorstickstoff.

Digitized by Google

tuirt wurde. Der Chlorstickstoff bildet eine ölartige, sehr scharf riechende, dunkelgelbe Flüssigkeit, welche bei der geringsten Erschütterung, sowie durch Berührung mit Phosphor, flüchtigen und fetten Oelen und vielen anderen Substanzen, sehr heftig explodirt und deren Handhabung deswegen ungemein gefährlich ist.

Chlorkohlenstoff.

In ähnlicher Weise entstehen Verbindungen des Chlors mit Kohlenstoff. Wenn Chlor allmälig zu Grubengas tritt, so wird der Wasserstoff desselben verdrängt, durch Chlor ersetzt, und es bildet sich zweifach Chlorkohlenstoff, C_2Cl_3, eine farblose bewegliche Flüssigkeit von aromatischem Geruch. Leitet man seine Dämpfe durch eine glühende Röhre, so giebt er zunächst Chlor ab und verwandelt sich in einfach Chlorkohlenstoff, CCl, eine ebenfalls flüchtige, ölartige Flüssigkeit, die bei stärkerem Erhitzen weiterhin Chlor abgiebt und halb Chlorkohlenstoff, C_2Cl, liefert, welcher seidenglänzende, farblose, eigenthümlich riechende Nadeln vorstellt und dessen Dämpfe in heftiger Glühhitze vollständig in Kohlenstoff und Chlor zerfallen. Zudem kennt man noch den anderthalb Chlorkohlenstoff, C_2Cl_3, über dessen Entstehung wir später Näheres mittheilen wollen. Er bildet einen starren, farblosen Körper, der bei 182° unter vorhergehendem Schmelzen sich verflüchtigt und einen kampferähnlichen Geruch besitzt.

Chlorschwefel.

Leitet man Chlor über Schwefelpulver, so entsteht zunächst Halbchlorschwefel, Schwefelchlorür, S_2Cl, eine unangenehm erstickend riechende, rothgelbe, ölartige, rauchende Flüssigkeit, die sich bei 139° unverändert verflüchtigt und reichlich Schwefel auflöst. Sie nimmt weiter Chlor auf und bildet schließlich einfach Chlorschwefel, Schwefelchlorid, SCl, einen ähnlichen Körper. Höhere Chlorverbindungen des Schwefels, die etwa der schwefligen Säure und Schwefelsäure entsprächen, hat man isolirt bis jetzt nicht darzustellen vermocht. Gleichwie mit Schwefel, vereinigt sich

Chlorphosphor.

Phosphor mit Chlor direkt, und bildet zunächst das Phosphorchlorür, PCl_3, eine wasserhelle bewegliche Flüssigkeit, welche bei 78° siedet, einen durchdringenden Geruch besitzt, und bei weiterem Zuleiten von Chlor sich allmälig in das Phosphorchlorid, PCl_5, umwandelt, welches der Phosphorsäure entspricht und einen krystallinischen, flüchtigen, farblosen, heftig riechenden Körper vorstellt.

Um das Bild des Charakters von Chlor und ähnlichen Körpern zu vollenden, muß noch angeführt werden, daß es nicht selten in gewissen Sauerstoffverbindungen den Sauerstoff theilweise ersetzt, so, daß die Anordnung der Atome in der Gruppe gewissermaßen dieselbe bleibt, während ein Theil des Sauerstoffs durch Chlor vertreten ist. Gleichwie z. B. die Kohlensäure durch Verbindung von Kohlenoxyd mit Sauerstoff entstehen kann, verbindet sich ersteres auch direkt mit Chlor und erzeugt so das Chlorkohlenoxyd, ein farbloses, höchst durchdringend riechendes Gas, dessen Zusammensetzung der Formel: COCl entspricht, also den Typus der Kohlensäure nachahmt, nur ist die Hälfte des Sauerstoffs durch Chlor vertreten. Schweflige Säure, welche unter gewissen Umständen direkt 1 Atom Sauerstoff aufnimmt und so in Schwefelsäure übergeht, verbindet sich auch unmittelbar mit 1 Atom Chlor und liefert so die Chlorschwefelsäure, SO_2Cl, eine erstickend riechende, farblose, flüchtige Flüssigkeit. Den Typus der Phosphorsäure ahmt das Phosphoroxychlorid nach: PCl_3O_2.

Königswasser.

Mischt man Salpetersäure mit Salzsäure, so erhält man eine Flüssigkeit, welche unter dem Namen Königswasser zur Auflösung von Metallen

Digitized by Google

dient, welche den beiden Bestandtheilen das Gemenge für sich vollkommen widerstehen. Die Ursache dieser Erscheinung liegt in dem Vorhandensein von freiem Chlor, welches durch Einwirkung des Sauerstoffs der Salpetersäure auf den Wasserstoff der Salzsäure abgeschieden, sich mit den Metallen direkt vereinigt, und diese in lösliche Chlorverbindungen überführt. Einen Theil des Chlors findet man aber im Königswasser in Gestalt von sehr flüchtigen, rothbraunen Flüssigkeiten, wovon die eine Chlorunterſalpetersäure ist, NO_2Cl_2, und die zweite chlorsalpetrige Säure, NO_2Cl, und welche somit der eben besprochenen Klasse von Verbindungen angehören, von denen wir noch später einige wichtigere Beispiele zu erwähnen haben werden.

Brom.

Brom trägt ganz den Charakter des Chlors an sich, so daß die chemische Beschreibung dieses Elementes nahezu vollständig mit der des Chlors zusammenfällt. Es tritt in der Natur sehr spärlich auf, besonders als Brommagnesium und Bromnatrium, das Kochsalz im Meerwasser und Steinsalz begleitend, und findet sich reichlicher in den Mutterlaugen gewisser Salzsoolen, aus welchen es hie und da mittelst Braunstein und Schwefelsäure geradeso wie das Chlor abgeschieden wird. Es bildet eine dunkelrothbraune Flüssigkeit von sehr üblem Geruche, die bei 63° siedet, bei —19° zu einer spröden, braunen, krystallinisch-blättrigen Masse erstarrt, deren Dämpfe braunroth gefärbt sind und vom Wasser ziemlich reichlich aufgenommen werden. Gleich dem Chlor liefert auch das Brom ein krystallisirtes Hydrat Br + 10HO. Von Sauerstoffverbindungen dieses Elementes kennt man nur die Bromsäure BrO_5, welche in allen Stücken der Chlorsäure gleicht. Ebenso entspricht die Bromwasserstoffsäure HBr der Salzsäure.

Jod.

Jod ist ebenso verbreitet wie Chlor, findet sich aber überall nur sehr spärlich. Es ahmt hinsichtlich seines Vorkommens das Brom nach und findet sich reichlicher in der Asche gewisser Strandpflanzen, welche man an manchen Orten darzustellen pflegt, um die darin vorkommenden Salze, namentlich schwefelsaures Kali, Chlorkalium und Kochsalz zu gewinnen. Man erhält so schließlich Mutterlaugen, in welchen sich die löslichsten Verbindungen, unter diesen Jodnatrium, aufgehäuft haben. Aus diesen wird das Jod meistens durch Einleiten von Chlorgas abgeschieden, da das Chlor eine größere Verwandtschaft zu den Metallen besitzt und somit das Jod aus seinen Verbindungen verdrängt. Man trocknet es und reinigt es schließlich durch Sublimation. Es bildet in gewöhnlicher Temperatur eine feste, graue, metallglänzende Masse von scharfem eigenthümlichem Geruch, die bei 107° schmilzt und bei 180° sich in dunkelviolettrothe Dämpfe verwandelt, bei deren Condensation zuweilen das Jod in deutlicheren Krystallen des ein- und einaxigen Systems erhalten wird. Auch das Jod steht in den meisten Beziehungen dem Chlor ganz nahe, ist aber mit weit geringeren Affinitäten als dieses ausgestattet. So kann man direkt Jod mit Wasserstoff nicht vereinigen, auch vermag das Jod nicht, den Wasserstoff anderen Verbindungen zu entziehen, läßt sich dagegen durch verschiedene Oxydationsmittel, namentlich Salpetersäure in Jodsäure, überführen, welche nach der Formel JO_5 zusammengesetzt ist und eine farblose krystallinische Substanz bildet, die in stärkerer Wärme schmilzt und endlich in Jod und Sauerstoff zerfällt. Auch eine Ueberjod-

Digitized by Google

säure JO_7 ist bekannt, sowie endlich Unterjodsäure JO_3. Jodwasserstoff gleicht nahezu in allen Beziehungen dem Chlorwasserstoff, nur ist dieser Körper viel zerleglicher und gibt sogar an den Sauerstoff der Luft unter Abscheidung von Jod den Wasserstoff ab. Mit Brom und Chlor verbindet sich Jod direkt.

Fluor.

Fluor gehört zu den am wenigsten gekannten Elementen, da es zu allen Körpern so mächtige Affinität zeigt, daß man es bis jetzt mit Sicherheit noch nicht zu isoliren vermochte. Es findet sich nirgends frei, sondern nur an Metalle gebunden, am reichlichsten als Fluorcalcium, Flußspath. Mit Sauerstoff hat man es bis jetzt nicht verbinden können. Wir sind über den chemischen Charakter dieses Elementes noch nicht völlig aufgeklärt, doch deutet vieles darauf hin, daß es im Wesentlichen den vorhergehenden Haloiden am nächsten steht. Die interessanteste Verbindung des Fluors ist die Fluorwasserstoffsäure, Flußsäure HFl, ein farbloses, coërcibles Gas, welches erstickend sauer riecht, an der Luft raucht, die Respirationsorgane heftig angreift und vom Wasser reichlich absorbirt wird. Wie die Formel zeigt, entspricht es hinsichtlich seiner Zusammensetzung der Salzsäure, hat aber die Fähigkeit, sich nahezu mit allen Metallen unter Entwicklung von Wasserstoff zu zersetzen und Fluormetalle hervorzubringen, welche im Allgemeinen Aussehen und Charakter der Haloidsalze zeigen. Nur Platin, Gold und bis zu einem gewissen Grade Blei widerstehen der Einwirkung der Flußsäure, weßhalb bei ihrer Darstellung oder Aufbewahrung bloß Metalle der genannten Art zur Anwendung kommen dürfen. Glas wird von wässeriger Flußsäure ebenfalls gelöst, indem diese die Eigenschaft besitzt, mit der Kieselsäure des Glases, welche sich, gegenüber allen übrigen Säuren, fast ganz indifferent verhält, unter Wasserbildung sich in Fluorsilicium umzulegen, welches in wässeriger Flußsäure löslich ist, weßhalb man die Flußsäure auch häufig zum Aetzen auf Glas benutzt. Zur Darstellung der Flußsäure erwärmt man gepulverten reinen Flußspath mit Schwefelsäurehydrat in einer Retorte aus Blei oder Platin. Der Flußspath zerlegt sich dabei in ähnlichem Sinne wie das Chlornatrium bei Bereitung der Salzsäure: $SO_3, HO + CaFl = -CaO, SO_3 + HFl$. Aus der Flußsäure lassen sich mittelst der entsprechenden Oxyde die übrigen bekannten Fluorverbindungen, Fluoride, leicht darstellen. Es ist übrigens keine einzige Verbindung bekannt, in welcher das Fluor als Radikal auftreten würde.

Flußsäure.

Kiesel (Silicium).

Kiesel, Silicium gehört unter die verbreitetsten Elemente und ist um so wichtiger, als es an der Zusammensetzung der überwiegenden Mehrzahl der Mineralien und Gebirgsarten Theil nimmt, besonders solcher, die in großen Massen auftreten und somit hauptsächlich die feste Erdrinde bilden. Das Silicium findet sich in der Natur nur als Sauerstoffverbindung in Gestalt von freier oder an Basen gebundener Kieselsäure vor. Man kann es aus dem Kieselfluorkalium, einer Verbindung, welche Kalium, Silicium und Fluor enthält, durch Erhitzen mit unverbundenem Kalium darstellen, welches sich mit sämmtlichem Fluor vereinigt und das Silicium abscheidet. Dieses wird durch Waschen mit Wasser von dem löslichen Fluorkalium befreit und stellt dann ein braunes, völlig unschmelzbares Pulver dar, welches

Digitized by Google

bei Luftzutritt erhitzt, zu Kieselsäure verbrennt. Die **Kieselsäure** SiO_3 trifft man als Bergkrystall und Quarz in reinem unverbundenem Zustande natürlich an. Diese Mineralien sind sehr hart, durchsichtig, farblos oder durch fremde Beimengungen etwas gefärbt (**Amethyst**), ihre Krystallform gehört dem drei- und einaxigen Systeme an. Welche zahlreiche Varietäten der Quarz darbietet, wird in der Mineralogie näher ausgeführt werden. Im Feuerstein, Opal und in einigen anderen hieher gehörigen Mineralien erscheint die Kieselsäure völlig amorph; in einem solchen Zustande läßt sie sich auch künstlich durch Glühen des Kieselsäurehydrates darstellen. Man erhält sie so als ein feines, weißes, lockeres Pulver, welches zwischen den Zähnen knirscht und gleich dem Quarz in Wasser völlig unlöslich ist. Auch die Säuren greifen sie nicht an, mit Ausnahme der Flußsäure, welche sich, wie oben bemerkt, damit in Fluorsilicium umlegt ($SiO_3 + 3HFl = SiFl_3 + 3HO$). Die Kieselsäure ist sehr schwer schmelzbar; im Knallgasgebläse aber kann sie zu einer zähflüssigen Masse geschmolzen werden, welche glasartig erstarrt. Man kennt auch Hydrate der Kieselsäure. Gewisse natürliche und künstliche Salze derselben lassen sich durch stärkere Säuren zerlegen oder, wie man es in diesem Falle zu nennen pflegt, aufschließen und die Kieselsäure wird abgeschieden. Sie bildet dann eine durchscheinende gallertartig aufgequollene Masse, welche sich auch etwas im Wasser löst, namentlich, wenn dieses viel freie Salz- oder Schwefelsäure enthält. Nach dem Austrocknen an der Luft hat das Hydrat das Aussehen der durch Glühen daraus gewonnenen amorphen wasserfreien Säure und enthält auf 1 Atom der Letzteren 3 Atome Wasser, von welchem aber schon bei 100° ein Theil entweicht. Obwohl Kieselsäure für sich völlig feuerbeständig ist, so verflüchtigt sich doch eine beträchtliche Menge derselben, wenn die Säure sich in siedendem Wasser befindet, wo sie die Dämpfe des Letzteren begleitet. Die Bedeutung der Kieselsäure beschränkt sich nicht auf ihr Vorkommen in der Mineralwelt, man findet sie auch in Pflanzen und Thieren als wesentlichen unentbehrlichen Bestandtheil, namentlich enthält die Epidermis der Gramineen reichlich Kieselsäure, die Panzer vieler Infusorien bestehen aus Kieselsäurehydrat (**Kieselguhr**) und selbst in dem Blute der höheren Thiere findet sich, obwohl spärlich, dieser Körper. Die Kieselsäure zeichnet sich durch die große Mannigfaltigkeit aus, welche die Zusammensetzung ihrer Salze zeigt. Man nennt diese im Allgemeinen **Silikate**. Alle übrigen Verbindungen des Siliciums ahmen in ihrer Zusammensetzung die Kieselsäure nach. Das **Siliciumchlorid** $SiCl_3$ ist eine farblose bewegliche Flüssigkeit, welche bei 59° siedet und durch Wasser in Salzsäure und Kieselsäure zerlegt wird. Das **Siliciumbromid** $SiBr_3$ verhält sich ähnlich. Ueber die Entstehung des **Siliciumfluorids** $SiFl_3$ wurde schon oben berichtet. Man stellt es durch Erwärmen eines Gemenges von Kieselsäure, Flußspath und Schwefelsäure dar. Es bildet ein farbloses coërcibles Gas, welches einen sauren Geruch besitzt und an der Luft stark raucht.

Kieselsäure.

Leitet man es in Wasser, so scheidet sich augenblicklich Kieselsäurehydrat ab und in der Flüssigkeit findet sich **Kieselfluorwasserstoffsäure** (**Kieselflußsäure**): $2SiFl_3, 3HFl$. Die Entstehung derselben geht nach folgendem Schema vor sich: $3SiFl_3 + 4HO = SiO_3, HO + 2SiFl_3, 3HFl$. Der Wasserstoff der Säure, welche eine farb- und geruchlose stark sauer schmeckende Flüssigkeit vorstellt, läßt sich leicht gegen Metalle austauschen, wenn man deren Oxyde mit der Säure zusammenbringt, wobei sich Wasser bildet.

Kieselflußsäure.

Digitized by Google

Bor.

Bor gleicht in vieler Beziehung dem Silicium, findet sich aber nur spärlich als Borsäure und deren Salze vor. Die Borsäure gibt an erhitztes Kalium ihren Sauerstoff ab und man kann solchergestalt das Bor isoliren, indem man nach dem Erhitzen mit Wasser das neu entstandene Kaliumoxyd entfernt, wobei das Bor als ein abfärbendes, braungrünes, geruch- und geschmackloses, feuerbeständiges feines Pulver zurückbleibt, welches, an der Luft erwärmt, mit glänzendem Lichte zu Borsäure verbrennt. Diese, Borsäure. BO_3, trifft man als Hydrat im Sassolin der Mineralogen, ferner als saures borsaures Natriumoxyd (Borax, Tinkal), in einigen anderen Mineralien, sowie auch in Mineralwässern, endlich begleitet die Borsäure als Hydrat, von den Wasserdämpfen gleich der Kieselsäure gewissermaßen flüchtiger gemacht, in einigen Gegenden, namentlich im Toskanischen, vulkanische Gase, welche dort an vielen Stellen ausströmen. Das Hydrat kann man künstlich aus dem Borax abscheiden, wenn man diesen in vier Theilen heißem Wasser löst und so lange Schwefelsäure zusetzt, bis die Flüssigkeit sauer ist. Dadurch wird die Borsäure aus dem Salze abgeschieden, bleibt zunächst in der warmen Flüssigkeit gelöst und krystallisirt aus derselben allmälig in weißen perlmutterglänzenden sechsseitigen Blättchen. Das Hydrat hat lufttrocken die Formel $BO_3, 3HO$. Schon unter dem Siedepunkte des Wassers verliert es die Hälfte des Hydratwassers und wird zu $2BO_3, 3HO$. Bei weiterem Erhitzen bläht sich die Säure stark auf, gibt dabei sämmtliches Wasser ab und schmilzt endlich in schwacher Glühhitze zu einer zähflüssigen Masse, welche beim Erkalten glasartig erstarrt.

Gewinnung der Borsäure im Toskanischen. Das oben erwähnte Vorkommen der Borsäure in vulkanischen Gasen, welche heiß zu Tage kommen, benutzt man in interessanter Weise im Toskanischen zur Gewinnung großer Massen der Säure. Man leitet nämlich die Gasströme in terrassenförmig über einander aufgestellte, mit Wasser gefüllte Bassins. Das Wasser nimmt so allmälig eine gewisse Menge Borsäure auf, wird dann in die tiefer gelegenen Behälter abgelassen, wo es sich weiter sättigt und kömmt später in flache Bleipfannen, deren Boden von den heißen Gasen bestrichen wird, wobei man durch Eindampfen des Wassers endlich eine hinreichend concentrirte Lösung erhält, aus welcher beim Erkalten in großen mit Blei ausgelegten Kufen reichlich Borsäure krystallisirt, welche man herausnimmt, abtropfen läßt und dann in ebenfalls mit den Gasen beheizten Kammern trocknet. In dieser Weise, wo jeder Aufwand von Brennmaterial erspart ist, der in den dortigen holzarmen Gegenden ohnehin unmöglich wäre, werden jährlich etwa 18,000 Centner Borsäure gewonnen, aus welchen man künstlichen Borax zu fabriciren pflegt. Die Verbindungen des Chlors, Broms und Fluors mit Bor sind Gase. Das Borfluorid BFl_3 gibt mit Wasser eine der Kieselflußsäure ähnliche Verbindung die Borfluorwasserstoffsäure.

Digitized by Google

IV.

Die Metalle.

Die Metalle zeigen untereinander im Allgemeinen viel mehr Aehnlichkeit nach ihrem Aussehen und chemischen Verhalten, als die nichtmetallischen Elemente. Dennoch ist keine einzige Eigenschaft bekannt, welche sämmtlichen Metallen zukäme und diese von den Metalloiden scharf unterscheiden ließe, so daß eine strenge Umgrenzung des Begriffs Metall nicht gut angeht. Jeder Leser wird sich aber nach den Erfahrungen des gewöhnlichen Lebens eine Vorstellung von den gewöhnlichen Eigenschaften der Metalle zu bilden im Stande sein. Mit Ausnahme des Quecksilbers sind alle Metalle in gewöhnlicher Temperatur fest, ihr Schmelzpunkt aber je nach ihrer Natur verschieden. Es gibt Metalle, welche, wie z. B. Kalium, unter dem Siedepunkte des Wassers schon schmelzen, während andere (Iridium) selbst im Knallgallgebläse noch fest bleiben. Hinsichtlich ihrer Flüchtigkeit lassen sich ähnliche große Verschiedenheiten beobachten. Alle Metalle zeigen im zusammenhängenden Zustande einen lebhaften Glanz, ihre Farbe ist meist grauweiß; sehr dehnbare Metalle, wie Gold, sind in äußerst dünnen Blättchen bis zu einem gewissen Grad durchschimmernd. Die Dehnbarkeit ist bei manchen Metallen, wie Gold, ungemein groß, während andere geradezu als spröde Körper bezeichnet werden müssen. Die Krystallformen der Metalle gehören entweder dem regulären oder seltener dem drei- und einaxigen Systeme an. Alle Metalle leiten die Electricität und Wärme gut, doch finden sich natürlich auch hier merkliche Unterschiede. Zu Sauerstoff zeigen die Metalle im Ganzen große Affinität und die meisten derselben oxydiren sich direkt beim Erhitzen an der Luft. Eine Ausnahme hiervon machen die sogenannten edlen Metalle, die sich schwierig oder gar nicht unmittelbar mit Sauerstoff verbinden lassen und beim Erhitzen diesen leicht wieder abgeben, während man bei den unedlen Metallen sich mehr oder minder energischer Reduktionsmittel bedienen muß, um das Metall aus dem Oxyd wieder herzustellen. Man benutzt hiezu, mit Unterstützung einer starken Hitze, in der Regel Kohle, Kohlenoxydgas und Wasserstoff. Wo die Oxyde der Metalle auch durch diese Körper gar nicht oder höchst spärlich reducirt werden, wird, um überhaupt das Metall unverbunden herzustellen, mit gutem Erfolge die Electrolyse benutzt, indem das Metall als Chlorid zum Schmelzen gebracht und der Einwirkung eines starken galvanischen Stromes ausgesetzt wird, wo es sich dann an einer als negativen Pol benutzten Platinplatte im unverbundenen Zustande (regulinisch) abscheidet. Zu Wasserstoff haben die Metalle sehr wenig Verwandtschaft, ebenso zu Stickstoff und Kohlenstoff, welch letzterer sich zwar mit vielen Metallen, besonders

Allgemeines über Metalle.

Digitized by Google

bei der durch Glühen mit Kohle erfolgenden Reduktion ihrer Oxyde vereinigt, aber nur selten deutliche constant zusammengesetzte Verbindungen liefert. Schwefel vereinigt sich mit den meisten Metallen direkt beim Erhitzen; viele Schwefelmetalle lassen sich auch durch Einwirkung von Schwefelwasserstoff auf die Oxyde unter gleichzeitiger Wasserbildung hervorbringen oder durch Glühen der Oxyde in Schwefelkohlenstoffdampf u. s. w. Die Haloide zeigen, wie oben erwähnt, eine sehr große Verwandtschaft zu den Metallen, und Chlor vereinigt sich selbst mit den edlen direkt, was selbst der Sauerstoff nicht immer zu thun vermag. Auch Selen, Tellur, Phosphor und Arsen sind im Stande, mit den Metallen Verbindungen einzugehen. Arsenmetalle treten natürlich ziemlich massenhaft auf, wogegen Phosphormetalle mit Ausnahme des Phosphoreisens und Phosphornickels, welches in manchen Meteoreisen vorkömmt, in der Natur nirgends beobachtet werden. Durch Zusammenschmelzen zweier oder mehrerer Metalle entstehen die Legirungen, welche sich sehr häufig von den einzelnen darin vorfindlichen Metallen, durch die Farbe, den Schmelzpunkt, die Dehnbarkeit u. s. w. sehr wesentlich unterscheiden und oft für praktische Verwendungen viel geeigneter erscheinen, als die reinen Metalle für sich.

Eintheilung der Metalle.

Es lassen sich bei den Metallen einzelne Gruppen beobachten, deren Glieder unter sich bedeutende Aehnlichkeit darbieten. Dieß tritt am ersichtlichsten hervor, wenn man das Verhalten zu Sauerstoff und den chemischen Character der betreffenden Oxyde vorzugsweise berücksichtigt. Es gibt Metalle, welche eine so große Verwandtschaft zu Sauerstoff besitzen, daß sie selbst in gewöhnlicher Temperatur das Wasser, unter Abscheidung von Wasserstoff, heftig zerlegen, bei anderen findet diese Zersetzung erst in höherer Temperatur statt oder bei Gegenwart von Säuren (s. S. 448). Gewisse Metalle zerlegen endlich das Wasser gar nicht, obwohl sie sonst sehr viel Verwandtschaft zu Sauerstoff haben, während, wie bemerkt, die edlen Metalle diese überhaupt nur in geringerem Grade zeigen. Was den Charakter der Oxyde anlangt, so sind diese im Allgemeinen um so kräftigere Basen, je näher deren Radikale in der electrochemischen Reihe dem Kalium, als dem positivsten aller Metalle stehen, doch können auch solche Metalle, mit hinreichend viel Sauerstoff verbunden, entschiedene Säuren hervorbringen, welche Fähigkeit aber besonders den negativeren Metallen zukömmt, die man deßhalb auch häufig säurebildende Metalle nennt.

Die alkalischen Metalle.

Die erste Gruppe von Metallen, deren einzelne Glieder unter sich eine besondere große Aehnlichkeit zeigen, ist die der alkalischen Metalle oder Alkalimetalle, deren basische Oxyde man Alkalien nennt und welche zugleich die kräftigsten bekannten Basen liefern. Es sind dieß das Kalium, Natrium und Lithium. Sie zersetzen das Wasser in gewöhnlicher Temperatur, lösen sich als Oxyde leicht im Wasser und bilden mit Kohlensäure und den meisten anderen Säuren lösliche Salze.

Kalium.

Das Kalium ist silberweiß, glänzend, in gewöhnlicher Temperatur weich und knetbar, schmilzt bei 58°, hat ein spec. Gew. von 0,863 und liefert in starker Hitze grüne Dämpfe. An der Luft überzieht es sich rasch mit einer Oxydschicht. In der Wärme verbrennt es mit violettem Lichte. Das Wasser

Digitized by Google

zersetzt es so heftig, daß der sich rasch entwickelnde Wasserstoff sich entzündet und, mit Kaliumdämpfen gemengt, verbrennt. Das Kalium wird durch heftiges Weißglühen eines Gemenges von Kohle und kohlensaurem Kali in einer schmiedeeisernen Retorte dargestellt. Die Kohlensäure und das Metalloxyd werden durch die Kohle reducirt, es bilden sich Kohlenoxyd und Kaliumdämpfe, welche letztere man in einer passenden Vorlage condensirt. Das Metall muß unter Steinöl, einem Kohlenwasserstoff, aufbewahrt werden. In der Natur findet man es bloß in Verbindungen, in zahlreichen Salzen, besonders als Silikat, sehr verbreitet, aber nirgends massenhaft. Das wichtigste Oxyd des Kaliums ist das Kali, KO, die kräftigste Basis, im Wasser, als Hydrat, KO,HO, ungemein löslich und diesem eine sehr ätzende Beschaffenheit ertheilend (Kalilauge, Aetzkali). Aus der Lösung gewinnt man das feste Kalihydrat, durch Eindampfen und schließliches Schmelzen des Produktes, als einen ölartig flüssigen, nach dem Erkalten weißen, faserig krystallinischen Körper, der an der Luft leicht zerfließt. Die mächtigen Verwandtschaftskräfte, welche das Kalihydrat gegenüber von vielen Körpern äußert, bedingen seine vielseitige Verwendung für wissenschaftliche und technische Zwecke. Kali.

Man bereitet es durch Einwirkung von Kalkhydrat auf im Wasser gelöstes kohlensaures Kali, wobei die beiden Körper ihre Bestandtheile austauschen und sich kohlensaurer Kalk und Kalihydrat bilden: $CaO, HO + KO, CO_2 = CaO, CO_2 + KO, HO$. Man läßt den kohlensauren Kalk in verschlossenen Flaschen absetzen und verwendet die überstehende Kalilauge entweder als solche, oder nach dem Eindampfen und schließlichem Schmelzen in silbernen Gefäßen, als festes Hydrat. Außer dem Kali ist noch ein Kaliumsuperoxyd, KO_3, bekannt. Die Haloidsalze des Kaliums sind sämmtlich im Wasser löslich und krystallisiren in wasserfreien Würfeln. Das Chlorkalium ist die wichtigste dieser Verbindungen und hat viele Aehnlichkeit mit dem Kochsalz. Die Schwefelungsstufen des Kaliums, welche schon Seite 431 aufgezählt wurden, sind sämmtlich im Wasser löslich, bilden mit Ausnahme des einfach Schwefelkaliums damit gelbe Flüssigkeiten, welche nach Schwefelwasserstoff riechen, und sind im starren Zustande rothbraun bis leberbraun. Die sogenannte Schwefelleber der Officinen wird durch Zusammenschmelzen von kohlensaurem Kali mit gepulvertem Schwefel erhalten, wobei die Kohlensäure entweicht und ein Gemenge von mehrfach Schwefelkalium mit schwefelsaurem Kali zurück bleibt: $4(KO, CO_2) + 10S = KOSO_3 + 3KS_3 + 4CO_2$. Von den Sauerstoffsalzen des Kali's ist vor allen das kohlensaure Kali zu erwähnen; das neutrale Salz: KO, CO_2 trifft man nur in geringer Menge in manchen Kalksteinen und Mineralwässern. In der Asche der Landpflanzen dagegen tritt es reichlich auf und zwar gemengt mit schwefelsaurem Kali, Chlorkalium, Chlornatrium, kohlensaurem Kalk, Bittererde, kieselsauren Salzen und Eisen- sowie häufig Manganoxyd. Ueber die Bedeutung dieser unorganischen Stoffe wollen wir uns später aussprechen und hier nur anführen, daß die in der Asche als kohlensaure Salze vorfindlichen Basen keineswegs in dieser Gestalt in den Pflanzen vorhanden gewesen, sondern als Salze organischer Säuren, die beim Verbrennen gleichfalls zersetzt, einen Theil ihres Kohlenstoffs, als Kohlensäure an die Base gebunden, zurückgelassen haben. Man sammelt nun die Asche, laugt sie in mit durchbrochenem, doppelten Boden versehenen Fässern, den Aeschern, mit Wasser aus und dampft die so gewonnene Lösung in eisernen Kesseln bis zur Trockne ein, um das rohe Produkt schließlich in einem Ofen zur schwachen Glühhitze zu bringen, Kalihydrat. Haloidsalze des Kaliums. Schwefelkalium. Kohlensaures Kali.

Digitized by Google

so die letzten Antheile von anhängenden organischen Stoffen wegzubrennen und den Rückstand völlig vom Wasser zu befreien; welche Operation das Pottasche. Calciniren heißt. Das Produkt ist die Pottasche des Verkehrs, welche neben dem kohlensauren Kali auch alle übrigen löslichen Bestandtheile der Asche enthält. Da das Salz aber ungemein leicht im Wasser löslich ist, so kann man es von den anderen schwerer löslichen Verbindungen, durch Behandlung mit wenig Wasser und Eindampfen der gewonnenen Lösung, größtentheils reinigen. Es ist eine weiße, unkrystallinische feste Masse, hygroskopisch, schmelzbar und in der Weißglühhitze flüchtig. Geschmack und Wirkung erinnern etwas an die des Kalihydrats, sind aber weit weniger energisch. Das zweifach kohlensaure Kali: $KO,2CO_2,HO$ entsteht leicht, wenn man in die Lösung des neutralen Salzes Kohlensäure einleitet. Es krystallisirt aus Wasser in durchsichtigen Prismen und schmeckt schwach alkalisch und salzig.

Salpeter. Salpetersaures Kali, Kalisalpeter, KO,NO_5, steht dem kohlensauren Salze an Wichtigkeit nicht nach. Man beobachtet in manchen Gegenden, namentlich in Ostindien und Ungarn, an gewissen Stellen reichliche Auswitterungen dieses Salzes an der Oberfläche und schreibt diese Erscheinung mit Recht einer steten Neubildung des Salpeters zu, indem die im Boden vorfindlichen stickstoffhaltigen organischen Substanzen einen bei genügender Wärme und Feuchtigkeit eintretenden Verwesungsprozeß erleiden, durch welchen der Stickstoff zu Salpetersäure oxydirt wird, die sich sogleich mit den vorhandenen Basen, wie Kalk, Bittererde und besonders Kali, zu salpetersaurem Salz vereinigt. Man kann dort, wo die natürlichen Verhältnisse der Bildung des Salpeters nicht günstig sind, diese künstlich hervorrufen, indem man lockere, alkalireiche Erde, Schutt und dergl., mit stickstoffhaltigen Substanzen (Urin, Blut, Jauche ꝛc.) tränkt und hierauf in Haufen geschichtet durch mehrere Jahre diesem Verwesungsprozeß überläßt, wo sich endlich auch eine Auswitterung von salpetersauren Salzen kund gibt. In allen Fällen wird nun die salpeterhaltige Erde gesammelt und mit Wasser ausgelaugt; dieses nimmt nicht nur den Salpeter, sondern auch salpetersauren Kalk, salpetersaure Bittererde, sowie Chlorkalium, Chlornatrium, welche sich in der Erde vorfinden, auf. Man versetzt nun die Flüssigkeit mit einer entsprechenden Menge kohlensaurem Kali (das Brechen der Salpeterlauge), wodurch der Kalk und die Bittererde durch Doppelzersetzung in unlösliche kohlensaure Salze übergehen, während sich eine neue Menge salpetersaures Kali bildet. Hierauf wird die geklärte Flüssigkeit in eisernen Kesseln so weit abgedampft, daß sie beim Erkalten reichlich Krystalle von Salpeter liefert, welche durch wiederholtes Auflösen und Krystallisirenlassen gereinigt, endlich den raffinirten Salpeter des Handels darstellen. Das Salz ist im Wasser reichlich löslich. Bei 18° werden davon 29 Gewichtstheile auf 100 Wasser, bei 100° aber beinahe 250 Gewichtstheile aufgenommen. Auch Weingeist löst den Salpeter. Seine Krystalle sind gewöhnlich gestreifte Prismen des ein- und einaxigen Systems. Er hat einen kühlenden, scharf salzigen Geschmack, schmilzt schon in gelinder Hitze, gibt bei stärkerem und längerem Erhitzen Sauerstoff ab und hinterläßt salpetrigsaures Kali, welches aber weiterhin in Sauerstoff, Stickstoff und zurückbleibendes Kali zerfällt. Leicht brennbare Körper verpuffen mit dem Salpeter, der in den Laboratorien als Oxydationsmittel vielseitige Anwendung findet. Seine umfassendste Benützung ist aber Schieß-pulver. die zur Schießpulverbereitung. Das Schießpulver, bekanntlich ein Gemenge von Kalisalpeter, Schwefel und Holzkohle, verdankt seine Wirksamkeit

Digitized by Google

der mächtigen Volumvermehrung, welche die Produkte der Explosion beim Abbrennen erleiden. Das Schießpulver wird gewöhnlich so angefertigt, daß auf ein Atom salpetersaures Kali 1 Atom Schwefel und 3 Atome Kohlenstoff kommen. Beim Anzünden wird sämmtlicher Sauerstoffgehalt des Salpeters zur Bildung von Kohlensäure verwendet, der Stickstoff entweicht unverbunden, der Schwefel liefert endlich mit dem Kalium Schwefelkalium: $S + 3C + KO, NO_5 = 3CO_2 + N + KS$. Es entstehen so Gase, welche etwa das 300fache Volum des Schießpulvers annehmen würden, falls nicht bei dieser Umsetzung eine sehr namhafte Temperaturerhöhung einträte, welche die rasche Volumvermehrung in hohem Grade steigert. Die Flamme beim Abbrennen des Schießpulvers rührt von dem nachherigen Verbrennen des Schwefelkaliums an der Luft her, indem dieses zum Theil in schwefelsaures Kali übergeht. Die Hauptbedingung der Wirksamkeit des Schießpulvers beruht auf der leichten Entzündlichkeit der hierzu verwendeten Kohle, welche besonders locker sein muß, um ihrem Zwecke zu entsprechen. Man wählt deßhalb poröse weiche Holzarten, wie Faulbaum-, Ellern-, Pappelholz und dergl., und verkohlt selbe mit der nöthigen Vorsicht in möglichst niedriger Temperatur, um die in starker Hitze unvermeidliche Dichte und Schwerentzündlichkeit des Produktes zu vermeiden. Von solcher Kohle werden durchschnittlich 15 Theile auf 10—11 Theile Schwefel und 75 Theile Salpeter genommen. Das Ganze wird in Stampfen oder in Pulverisirtrommeln und ähnlichen Vorrichtungen sehr fein gepulvert und gleichzeitig innig gemengt, mit Wasser durchfeuchtet und so in Gestalt eines festen Breies gebracht, den man gewöhnlich in runde Kuchen formt und nach dem Austrocknen in Pergamentsieben mittelst einer linsenförmigen hölzernen Scheibe, welche mit Blei ausgegossen ist, unter passender Bewegung des Siebes in kleinere Stücke zerdrückt (körnt), welcher Operation bei den feinern Pulversorten auch noch das Glätten folgt, darin bestehend, daß das Pulver in Fässern, welche sich um ihre horizontale Axe bewegen, durch einige Zeit übereinander gerollt wird, wobei sich die Körner abrunden und eine glatte Oberfläche erhalten. Schließlich wird das immer noch feuchte Pulver an der Luft oder in beheizten Räumen getrocknet.

Schwefelsaures Kali.

Das schwefelsaure Kali, KO, SO_3, ist ein sehr verbreiteter Bestandtheil des Meer- und Quellwassers und wird auch reichlich in den Pflanzenaschen angetroffen. Es ist farblos, schmilzt, ohne sich zu verflüchtigen, in der Hitze, schmeckt salzig bitter und löst sich ziemlich schwierig im Wasser, aus welchem es sich beim Verdampfen in Krystallen des ein- und einaxigen Systems abscheidet. Auch ein zweifach-schwefelsaures Kali ist bekannt. Das neutrale Salz dient zu Heilzwecken, vorzüglich aber zur Alaunfabrikation (s. unten).

Wird in eine gesättigtere Lösung von Kalihydrat oder kohlensaurem Kali reichlich Chlorgas eingeleitet, so entsteht ein Gemenge von Chlorkalium und chlorsaurem Kali, welches letztere sich krystallinisch abscheidet und von dem anhängenden Chlorkalium durch Umkrystallisiren mit Wasser gereinigt werden kann. Es bildet in der Regel dünne, irisirende Krystallblättchen, welche dem zwei- und eingliedrigen System angehören. Man verwendet es zur Darstellung des Sauerstoffs, vorzüglich aber zur Bereitung explosiver Zündpräparate (s. oben bei Chlorsäure).

Natrium.

Natrium (Sodium) zeigt im unverbundenen Zustande, so wie in seinen Verbindungen, die größte Aehnlichkeit mit Kalium und wird auch genau

Digitized by Google

so wie dieses durch Erhitzen eines Gemenges von Kohle und kohlensaurem Natriumoxyd dargestellt. Seine Verbindungen sind sehr verbreitet, besonders das oft erwähnte Kochsalz, kohlensaures und schwefelsaures Natriumoxyd und kieselsaure Doppelsalze dieser Base mit anderen. Es schmilzt bei 90°, zeigt ein spec. Gew. von 0,97 und zerlegt das Wasser nicht so heftig wie Kalium, so daß beim Zusammentreffen beider Körper keine Entzündung des Wasserstoffs eintritt; im Uebrigen gleicht es genau dem Kalium. Auch das

Natron. Oxyd, NaO, gewöhnlich Natron genannt, und dessen Hydrat, NaO, HO, bieten hinsichtlich ihrer Darstellung und Eigenschaften, im Vergleich mit den entsprechenden Kaliumverbindungen, keine bemerkenswerthen Unterschiede dar und lassen sich in den überwiegend meisten Fällen genau zu denselben Zwecken anwenden, wie die letzteren. Auch das Superoxyd stimmt mit dem des Kaliums überein. Dasselbe gilt von den Schwefelungsstufen des Natriums. Die wichtigste und verbreitetste Verbindung des Metalls ist das Chlornatrium,

Kochsalz. Kochsalz, NaCl, welches nahezu überall, an manchen Stellen aber in großen Massen, in Gestalt von mehr oder weniger reinem Steinsalz oder als wässrige Lösung, wie im Meerwasser, welches etwa $2^1/_2$ % davon enthält, und den natürlichen Salzsoolen vorkommt. Seine Bedeutung für das Leben der Pflanzen und Thiere ist sehr groß, zugleich wird es in ungeheuren Massen technisch verwendet, da man Salzsäure, Chlor und endlich kohlensaures Natron daraus fabricirt. Das Chlornatrium ist farblos, schmelzbar und verflüchtigt sich in starker Hitze unverändert, aus Wasser krystallisirt es in durchsichtigen Würfeln oder Aggregaten derselben. Wird Wasser in gewöhnlicher Temperatur damit gesättigt, so enthält die Flüssigkeit 26,5 %. Bei 108°, dem Siedepunkt der völlig gesättigten Lösung, beträgt der Kochsalzgehalt 28,5 %, ist also nur unerheblich größer. Eine in gewöhnlicher Temperatur hergestellte concentrirte Lösung des Salzes wird daher beim Verdampfen in der Wärme sehr bald Krystalle abscheiden müssen, welche Eigenschaft man auch bei Gewinnung dieses Körpers umfassend benützt.

Gewinnung von Kochsalz. Wo Steinsalz sich hinreichend rein vorfindet, gewinnt man es einfach durch bergmännischen Abbau; in vielen Fällen ist es aber reichlich mit fremden, schwer oder ganz unlöslichen Substanzen, wie Gyps, Thon und dergl. gemengt. Uebrigens begleiten in schwankenden Mengen das Kochsalz immer auch schwefelsaures Natron, Chlormagnesium, Brom- und Jodkalium und Natrium, schwefelsaure Bittererde und andere Salze. Vorherrschend bleibt das Chlornatrium. Aus diesen Gemengen nimmt entweder darüber hinstreichendes Quellwasser oder künstlich hinzugeleitetes Wasser die löslichen Stoffe auf und führt sie zu Tage, so die natürliche oder künstliche Salzsoole bildend. Diese wird nun, falls sie reichlich Kochsalz enthält, sogleich, oder im entgegengesetzten Falle nach vorhergegangenem Gradiren, zum Verdampfen gebracht. Das Gradiren besteht in einer theilweisen Verdunstung des Wassers an der Luft, indem man die Soole aus Behältern über hohe, aus Reisigbündeln zusammengeschichtete, dem Luftzuge ausgesetzte Wände, herabsickern läßt, was 2—3mal wiederholt wird. In allen Fällen schreitet man dann zum Sieden des Salzes in großen, flachen, eisernen Pfannen, wobei in dem Maße, als dem Chlornatrium das Lösungsmittel entzogen wird, dieses sich in kleinen Krystallen abscheidet und zu Boden fällt, welcher sich gleichzeitig mit dem Pfannenstein, einer aus Gyps, schwefelsaurem Natron und Kochsalz bestehenden Salzkruste überzieht. In der Mutterlauge häufen sich Chlormagnesium, schwefelsaures Natron, Bittererde und Jod- wie Brom-

Digitized by Google

verbindungen als leichter löslich auf, welche zudem auch die Krystalle des Kochsalzes mehr oder minder verunreinigen. Das Kochsalz des Verkehrs enthält gewöhnlich 4—5 % solcher fremder Stoffe. Das Feuchtwerden desselben hat seinen Grund in dem beigemengten Chlormagnesium.

In den südlichen Gegenden Europa's, wo die Witterungsverhältnisse ein Verdunsten des Meerwassers begünstigen, gewinnt man das Meersalz, indem das Meerwasser in große flache Behälter geleitet wird, in welchen es allmälig Kochsalzkrystalle absetzt. Meersalz.

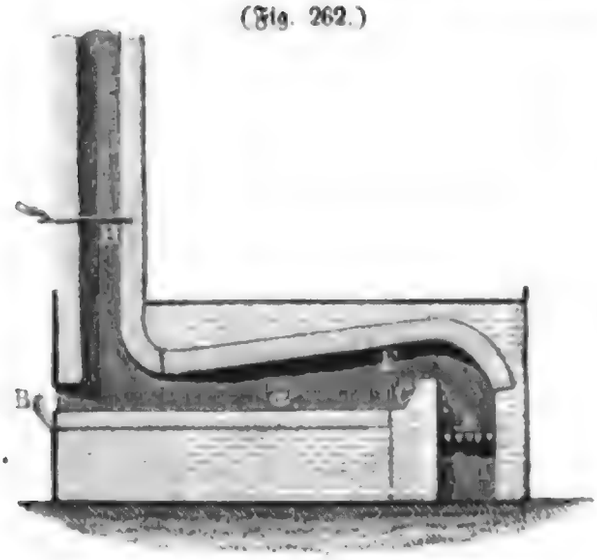
Von den Sauerstoffsalzen des Natrons sind besonders das salpetersaure, kohlensaure und borsaure Natron von Wichtigkeit. Das salpetersaure Salz, NaO, NO_5, trifft man in sehr großen Lagern im südlichen Amerika, an der Grenze zwischen Chili und Peru, etwas verunreinigt mit Kochsalz, Chlorkalium, Gyps u. s. w. Es bildet einen wichtigen Handelsartikel, wird in Europa durch Auflösen und Umkrystallisiren gereinigt, als raffinirter Chilisalpeter oder cubischer Salpeter zum Pöckeln von Fleisch, zur Darstellung von Salpetersäure u. s. w., in großen Massen benutzt, indem es in den meisten Fällen, mit Ausnahme der Schießpulverbereitung, statt des viel kostspieligeren Kalisalpeters angewendet werden kann. Das Salz löst sich leicht im Wasser, krystallisirt daraus in würfelähnlichen Rhomboedern und zeigt übrigens in seinem chemischen Verhalten die größte Aehnlichkeit mit Kalisalpeter. Natronsalpeter.

Das kohlensaure Natron, NaO, CO_2, gehört zu den verbreitetsten Verbindungen. Man trifft es in Quellwässern, in kleiner Menge den Kalksteinen beigemengt, auch in der Asche mancher Strand- und Seegewächse, wo es gleich dem kohlensauren Kali, durch Verbrennung der organisch-sauren Natronsalze entstanden, und hie und da in Gestalt der unausgelaugten Asche, besonders in Spanien aus der Salsola Soda gewonnen wird, deren Asche 30 % kohlensaures Natron enthält und als Barilla zur Versendung kommt. In einigen Gegenden Ungarns wittert das kohlensaure Natron aus dem Boden, wird gesammelt, und durch Auflösen und Eindampfen in Handelswaare übergeführt, welche überhaupt allgemein den Namen Soda führt und eine eben so großartige wie vielseitige Verwendung findet. Das Salz ist farblos, löst sich leicht im Wasser, zeigt einen alkalischen Geschmack, schmilzt beim Rothglühen und verdampft in starker Hitze. Durch langsames Verdunsten der wässrigen Lösung erhält man große wasserhelle Krystalle, welche 10 Atome (63 %) Wasser enthalten, an der Luft aber rasch, unter Abgabe der Hälfte des Wassers, verwittern und in ein weißes Pulver zerfallen. Wird eine gesättigte Lösung des Salzes durch Erhitzen verdampft, so scheiden sich kleine Krystalle desselben ab, welche nur 1 Atom Krystallisationswasser enthalten und Sodasalz heißen. Kohlensaures Natron. Soda.

Die Industrie nimmt von der Soda sehr große Quantitäten in Anspruch; das natürlich vorkommende Salz genügt diesem Bedarf nicht im Entferntesten, weshalb man künstliche Soda aus Kochsalz in sehr großartigem Maßstabe fabricirt. Zu diesem Behufe wird zunächst das Kochsalz durch Erwärmen mit Schwefelsäure in schwefelsaures Natron übergeführt. Man nimmt diesen Prozeß nicht etwa in Retorten, sondern in großen Flammenöfen vor. Die Einrichtung der Flammenöfen im Allgemeinen geht aus Fig. 262 hervor. Sie bezweckt den zu behandelnden Körper lediglich der Flamme des Brennstoffes auszusetzen und zugleich die in selben befindlichen Materialien nöthigenfalls beliebig bearbeiten zu können. Der Feuerraum A nimmt den flammengebenden Gegenstand, Holz oder Steinkohle, auf. Die Künstliche Soda. Flammenöfen.

Digitized by Google

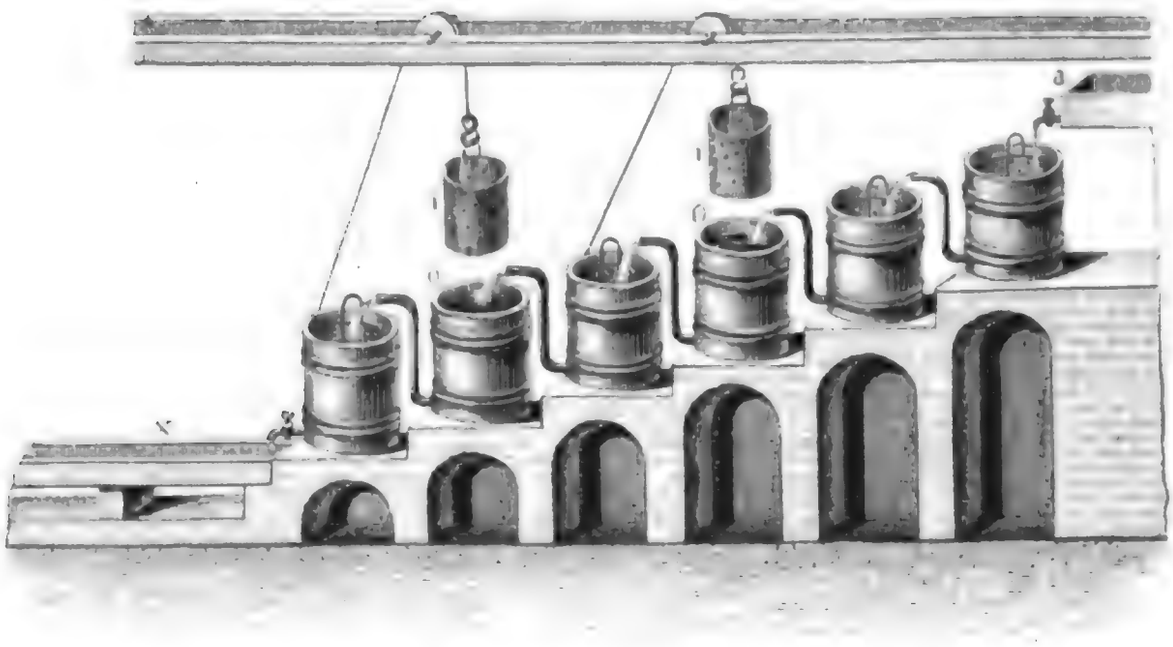
(Fig. 262.)



Flamme ſtreicht über die Feuerbrücke C in den Heerd des durch das Gewölbe E überdeckten Ofens, und von da in die Eſſe H, deren Schieber den Zug beliebig zu regeln geſtatten. Bei B und a ſind verſchließbare Arbeitsthüren angebracht, durch welche man den Ofen füllen und entleeren und die darin befindlichen Stoffe mit paſſenden Werkzeugen bearbeiten kann. Es iſt natürlich, daß die einzelnen Theile des Ofens, namentlich Größe und Form des Heerdes, nach den Zwecken ſehr mannigfaltig abgeändert werden können. So hat ein Ofen, der zur Zerlegung des Kochſalzes dienen ſoll, zwei Abtheilungen; die erſte, welche nächſt der Feuerbrücke liegt, dient zur vollſtändigen Zerſetzung und ſchließlichen ſcharfen Austrocknung des Produktes. Die dort hinſtreichenden Gaſe gleiten nun durch mehrere Kanäle nach abwärts und erhitzen den Boden einer in der zweiten Abtheilung eingeſetzten, größeren viereckigen Bleipfanne, welche in dem überwölbten Gehäuſe eine Retorte vorſtellt, aus der die ſich entwickelnde Salzſäure (ſ. S. 483) durch weite Thonröhren in eine große Reihe Woulf'ſcher Flaſchen geführt und dort vom Waſſer abſorbirt wird. Dieß geſchieht nicht nur, um nebenbei reichlich Salzſäure zu gewinnen, ſondern um auch dieſe ſo vollſtändig als möglich zurückzuhalten, damit ſelbe nicht der Nachbarſchaft zu ſehr zur Laſt falle. Um dieß möglichſt zu verhindern, führt man ſchließlich auch die Gaſe noch in ſehr hohe Eſſen. Man hat in England welche von 400 Fuß Höhe conſtruirt.

Das ſchwefelſaure Natron wird hierauf zu 200 Theilen mit 210 Theilen Kalkſtein und 106 Theilen Kohle innig gemiſcht und auf der Soole eines Flammofens bis zum Schmelzen erhitzt. Der Kalkſtein iſt kohlenſaurer Kalk. Das ſchwefelſaure Natron wird durch die Kohle in der Hitze zu einfach Schwefelnatrium reducirt, während Kohlenoxyd entweicht. Das Schwefelnatrium legt ſich nun mit dem kohlenſauren Kalk zu kohlenſaurem Natron um, während Schwefelcalcium entſteht, eine für ſich im Waſſer lösliche Verbindung, welche den ganzen Prozeß wieder rückgängig machen würde, falls man das Schmelzprodukt mit Waſſer behandelt, wie doch nöthig, indem ſich dann das Schwefelcalcium mit dem kohlenſauren Natron ſogleich wieder in lösliches Schwefelnatrium und unlösliches kohlenſaures Calciumoxyd umlegen würde. Da aber in dem Gemenge mehr Calciumoxyd vorhanden iſt, als zu dieſer Umwandlung überhaupt nöthig, ſo bildet ſich unter theilweiſer Entweichung der Kohlenſäure des Kalkſteins, eine Verbindung von 3 Atomen Schwefelcalcium mit 1 Atom Calciumoxyd, welche im Waſſer unlöslich iſt und daher die Behandlung des Produktes mit Waſſer nicht weiter hindert. Die geſchmolzene Maſſe, rohe Soda, iſt ſchwarz, man läßt ſie in breiigem Zuſtande in Blechkäſten erſtarren, pulveriſirt ſie und laugt ſie dann mit warmem Waſſer aus. Der Apparat, welcher hiezu dient, Fig. 263, beſteht aus terraſſenförmig übereinander geſetzten Käſten o, durch welche das aus a beſtändig zufließende Waſſer, vermittelſt der Abflußröhren, allmälig bis in die

(Fig. 263.)



Abdampfpfanne x gelangt. Die rohe Soda befindet sich in den durchlöcherten eisernen Kästen i, welche von Zeit zu Zeit in den höher gelegenen Auslaugekasten gehoben werden und auf diesem Wege alles Lösliche an das in entgegengesetzter Richtung sich bewegende Wasser abgeben müssen, welches endlich völlig gesättigt nach x gelangt. Die Lösung enthält auch immer etwas Schwefelnatrium, Natronhydrat, sowie fremde, von unreinem Kochsalz herrührende andere Beimengungen. Sie wird anfänglich in Pfannen, später in Flammenöfen bis zur Trockne eingedampft, dann calcinirt und als calcinirte Soda verschickt.

Frona.

In Egypten sowie in Mexico wittert an einigen Stellen krystallinisches, anderthalb kohlensaures Natron, $2NaO, 3CO_2 + Aq.$, aus dem Boden und wird gesammelt. In den Säuerlingen dagegen findet sich zweifach kohlensaures Natron, $NaO, 2CO_2 + Aq.$, welches leicht künstlich hervorgebracht werden kann, wenn man zu dem feuchten neutralen Salz oder in seine wässerige Lösung überschüssige Kohlensäure leitet. Es bildet kleine, unansehnliche Krystalle, wird beim Erhitzen in Kohlensäure und neutrales Salz zerlegt und dient zur Bereitung der bekannten Brausepulver, welches beliebte Mittel seine Wirksamkeit in der Zersetzung des zweifach kohlensauren Salzes mit Wein- oder Citronensäure findet, die man in entsprechender Menge zumischt, wo sich dann reichlich Kohlensäure entwickelt.

Doppeltkohlensaures Natron.

Glaubersalz.

Sehr verbreitet ist das schwefelsaure Natron, Glaubersalz, NaO, SO_3, es wird wasserfrei als Thénardit gefunden, findet sich aber, namentlich im Meerwasser, den Salzsoolen, Mineralwässern reichlich. Die Verbindung krystallisirt aus wässeriger Lösung in Prismen des zwei- und eingliedrigen Systems mit 10 Atomen Krystallisationswasser. Sie verwittert sehr leicht, schmeckt salzig-bitter, löst sich bei 33° in einem Drittel seines Gewichtes Wasser auf, scheidet sich aber, wenn man die Flüssigkeit darüber hinaus erwärmt, zum Theil als wasserfreies Salz wieder ab. Die umfassende Benutzung des Glaubersalzes wurde eben erörtert. Zudem findet es auch noch in der Glasfabrikation, sowie als Heilmittel Verwendung, und wird als Nebenprodukt bei der Fabrikation der Salpetersäure aus Chilisalpeter sowie aus den Mutterlaugen der Salzsoolen gewonnen.

Digitized by Google

Borax. Mit Borsäure bildet das Natron ein neutrales und saures Salz. Das letztere ist weitaus das wichtigere. Es wird als Tinkal in Tibet gefunden und von da in den Handel gebracht. Der gewöhnliche Name dieses Salzes ist Borax. Es ist im Wasser löslich, krystallisirt mit 10 Atomen Wasser aus demselben, bläht sich beim Erhitzen stark auf, indem es das Krystallwasser abgibt, und schmilzt endlich zu einer glasartigen, durchsichtigen Masse. Da der Borax ein saures Salz ist, so wirkt er beim Zusammenschmelzen mit Oxyden lösend auf diese ein und bildet schmelzbare Doppelsalze damit, welche nach der Natur des Oxyds sehr häufig eine bestimmte Färbung zeigen. So erhält man durch Zusammenschmelzen von Eisenoxydul mit Borax ein grünes Glas; Eisenoxyd liefert ein rothbraunes, Kobaltoxydul ein dunkelblaues, Kupferoxydul ein rubinrothes Glas u. s. w., welche Erscheinung man bei Proben vor dem Löthrohr sehr häufig benutzt, um derlei färbende Oxyde in den zu untersuchenden Körpern zu entdecken, indem man eine kleine Quantität davon mit Borax auf einem Platindraht zusammenschmilzt. Das Löthen zweier Metallstücke mit dem Loth wird aus ähnlichen Gründen durch Borax gefördert, denn etwas davon auf dem zu löthenden Metalle flüssig gemacht, nimmt die etwa vorhandene dünne Oxydschicht weg, welche sonst das Haften des Lothmetalls hindern würde. Diese letztere Anwendung bedingt auch, daß der Borax eine Handelswaare bildet, und theils durch Reinigen des Tinkals mittelst Umkrystallisirens, theils durch direktes Sättigen der im Toskanischen gewonnenen Borsäure, mit der entsprechenden Menge kohlensauren Natrons, fabrikmäßig dargestellt wird.

Lithium.

Lithium ist unter den drei Alkalimetallen das mindest verbreitete, und tritt auch nirgends in größeren Mengen auf. In Pflanzen und Thieren wurde es bis jetzt nicht beobachtet. Als einer der zahlreichen Bestandtheile des Lepidoliths und der Turmaline, sowie des Petalits, Spodumens und einiger anderer seltenerer Mineralien, erscheint das Oxyd mit Kieselsäure verbunden, selten in Mineralwässern als kohlensaures Salz. Die Eigenschaften des Metalls, seines Oxyds und der Salze erinnern an die der beiden anderen Alkalien.

Ammonium.

Wir fügen nun der Beschreibung dieser drei Metalle die eines zusammengesetzten Körpers bei, welcher uns als erstes und zugleich wichtigstes Beispiel jener zahlreichen Verbindungen entgegentritt, die aus zwei oder mehreren Elementen bestehend, in ihren Verbindungsweisen dennoch völlig den Charakter eines Elementes an sich tragen, weßhalb man sie zusammengesetzte Radikale nennt. Unter diesem Ausdruck werden also Körper verstanden, welche, obwohl zusammengesetzt, dennoch sich bis auf ihre Zerleglichkeit wie Elemente verhalten. Der Körper, von dem wir hier zu sprechen haben, ist das Ammonium, und besteht aus 1 Atom Stickstoff und 4 Atomen Wasserstoff (NH_4). Abgesehen von den Zerlegungen, welche diese Gruppe unter vielen Umständen leicht erleidet, ist der chemische Charakter des Ammoniums genau dem des Kaliums angepaßt, bis zu dem Grade, daß in vielen Fällen ohne genaue Untersuchung selbst ein geübtes Auge die Kaliumverbindungen von denen des Ammoniums nicht zu unterscheiden vermag. Deßhalb ist die Besprechung dieses merkwürdigen Körpers

Digitized by Google

hier an ihrem Platze. Er entsteht in sehr mannigfaltiger Weise, jedoch immer nur als Verbindung meistens aus stickstoffhaltigen, organischen Stoffen; bei ihrer Zerstörung durch Fäulniß, trockener Destillation u. dergl., wo dann Schwefelammonium, Chlorammonium und kohlensaures Ammoniumoxyd hauptsächlich auftreten. Isolirt konnte bisher das Ammonium nicht werden. Seine Verbindungen aber sind eben so zahlreich und bekannt als die des Kaliums. Die metallartige Natur dieses Körpers erhellt schon aus dem Umstande, daß man ein Amalgam desselben, also eine direkte Verbindung mit einem anderen Metalle, herstellen kann. Mit einer anderen Gruppe, dem Ammoniak, NH_3, welches um 1 Atom Wasserstoff weniger als das Ammonium enthält, steht letzteres in einem eben so einfachen als interessanten Zusammenhange. Man kann das Ammoniak, ohne Ausnahme, aus dem Ammonium entstehen lassen, wenn man die Salze des letzteren durch eine kräftigere Base, wie Kali, Kalk u. dergl., zersetzt. Das sich abscheidende Ammoniumoxyd, NH_4O, zerfällt dabei augenblicklich in Ammoniak und Wasser. Dagegen wird das Ammoniumoxyd sogleich wieder zurückgebildet, wenn ein Säurehydrat mit Ammoniak zusammenkommt, z. B.: $NO_5, HO + NH_3 = NH_4O, NO_5$. Wenn Wasserstoffsäuren mit Ammoniak in Berührung treten, so findet eine ähnliche Rückbildung von Ammonium statt, indem der Wasserstoff der Säure an das Ammoniak tritt, und das so entstehende Ammonium sich mit dem Haloide der Säure verbindet. Läßt man z. B. Ammoniakgas und Chlorwasserstoffsäure zu gleichen Raumtheilen zusammentreten, so verbinden sich beide augenblicklich zu Chlorammonium: $NH_3 + HCl = NH_4Cl$. Das Chlorammonium, der Salmiak, findet sich auch natürlich vor. Er wurde früher ausschließlich in Egypten durch Sublimation des Russes des Kameelmistes gewonnen, wo er sich in Folge des Stickstoffgehaltes dieses dort gebräuchlichen Brennmateriales, unter Vermittlung des Chlornatriums, bildet, und in den flüchtigen Produkten der Verbrennung ansammelt. Gegenwärtig dient meistens zur Fabrikation des Salmiaks das in den Leuchtgasfabriken gewonnene Theerwasser, welches reichlich Schwefelammonium und kohlensaures Ammoniumoxyd enthält. Man sättigt das Wasser mit Schwefelsäure, bildet so eine Lösung von schwefelsaurem Ammoniumoxyd, welche mit Chlornatrium versetzt und hinreichend eingedampft, durch Doppelzersetzung schwefelsaures Natron und Chlorammonium liefert. Das erstere scheidet sich zunächst, später Salmiak, krystallinisch ab, welcher, durch eine Sublimation gereinigt, in Gestalt einer faserigen krystallinischen Masse in den Handel kommt. Das Salz ist farblos, löst sich in beiläufig 2 Theilen warmem Wasser auf, krystallisirt daraus in kleinen regulären Octaëdern, hat einen sehr unangenehmen, scharf salzigen Geschmack und läßt sich unverändert verflüchtigen. Es findet eine sehr vielseitige Verwendung und bildet für den Chemiker in der Regel den Ausgangspunkt zur Darstellung anderer Ammoniumverbindungen und des Ammoniaks.

Ammoniak.

Salmiak.

Schwefelwasserstoff und Ammoniak vereinigen sich in der Kälte zu einfach Schwefelammonium: NH_4S, einem farblosen krystallinischen Körper von sehr unangenehmem Geruch. Es sind noch andere Schwefelungsstufen, namentlich in wässeriger Lösung bekannt. Salpetersaures Ammoniumoxyd, NH_4O,NO_5, durch Sättigen von Salpetersäurehydrat mit Ammoniak leicht zu erhalten, bildet Krystalle, welche dem Kalisalpeter gleichen, verpufft bei raschem Erhitzen, zerlegt sich aber, allmälig erwärmt, in Wasser und Stickstoffoxydul (s. Seite 452). Mit Kohlensäure vereinigt sich das Ammoniumoxyd in mehreren Verhältnissen. Die wichtigste Verbindung ist das anderthalb kohlen-

Ammonium-Oxydsalze.

Digitized by Google

saure Ammoniumoxyd, welches bei der trockenen Destillation stickstoffhältiger organischer Stoffe auftritt. Man stellt es in reinem Zustande durch Erhitzen von 1 Theil Salmiak mit 2 Theilen kohlensaurem Kalk (Kreide) dar, wobei nicht, wie man erwarten sollte, durch Doppelzersetzung neutrales kohlensaures Salz entsteht, sondern ein Drittel des Ammoniumoxydes als Ammoniak und Wasser entweicht, während andererseits Chlorcalcium entsteht: $3(CaO, CO_2 + NH_4Cl) = 2NH_4O, 3CO_2 + NH_3 + HO + 3CaCl$. Man nimmt die Zersetzung in einer Retorte vor, deren Gewölbe und Hals sich mit dem Salze als einer durchsichtig krystallinischen Masse auskleiden. Im kalten Wasser löst sich die Verbindung unverändert. Beim Erwärmen der Lösung entweicht Kohlensäure und bleibt neutrales Salz zurück. Wird in die Flüssigkeit Kohlensäure eingeleitet, so scheiden sich kleine Krystalle von doppelt kohlensaurem Ammoniumoxyd ab: $NH_4O, CO_2 + CO_2, HO$, welche dem entsprechenden Kalisalze gleichen. Dieß gilt auch von dem schwefelsauren Ammoniumoxyd, welches sich beim Erhitzen in Stickstoff, Wasser, Ammoniak und schwefligsaures Ammoniumoxyd zersetzt.

Was nun das Ammoniak anlangt, so haben wir dessen Entstehung aus dem Ammonium oben schon erörtert. Es ist ein farbloses, coërcibles Gas, von einem spec. Gew. von 0,58, hat einen höchst stechenden, durchdringend scharfen Geruch und wird vom Wasser zu 1000 Raumtheilen unter Volumvermehrung und Wärmeentwicklung absorbirt. Die so gewonnene Lösung heißt Ammoniakflüssigkeit, Salmiakgeist, Aetzammoniak. Sie hat ein spec. Gew. von 0,85, riecht heftig nach Ammoniak und gibt letzteres schon bei etwa 55^0 wieder gasförmig ab. In dieser Form findet auch in der Regel das Ammoniak seine Anwendung. Man stellt das Gas durch Erwärmen von gepulvertem Salmiak mit Kalk in einer Retorte dar ($CaO + NH_4Cl = CaCl + NH_3 + HO$) und bereitet die Ammoniakflüssigkeit durch Einleiten des so entwickelten Gases in Wasser, wie bei der Darstellung der Salzsäure Seite 483 erzählt wurde.

Salmiakgeist.

Ammonium sowie Ammoniak gehören zu den merkwürdigsten Körpern, die wir überhaupt kennen, und nehmen an den wichtigsten chemischen Vorgängen in der Natur einen ebenso ausgedehnten Antheil, wie etwa das Wasser und die Kohlensäure. Der Wasserstoff des Ammoniaks und Ammoniums ist durch verschiedene einfache und zusammengesetzte Radikale ersetzbar, selbst manche Metalle und sogar Ammonium als solches sind im Stande, in der Gruppe den Wasserstoff zu ersetzen, ohne daß in vielen Fällen der oben erörterte chemische Charakter dieser beiden Körper eine wesentliche Abänderung erlitte. Wir kennen demnach eine große Reihe von Verbindungen, welche sich auf den Typus NH_4 und NH_3 zurückführen lassen.

Calcium.

Den Alkalimetallen stehen zunächst die Metalle der alkalischen Erden, deren Oxyde ein erdiges Aussehen haben, als Hydrate sich wohl im Wasser lösen, allein weit weniger als die Alkalihydrate und mit Kohlensäure neutrale unlösliche Salze, mit Schwefelsäure sehr schwer lösliche Verbindungen bilden. Das Wichtigste unter ihnen ist das Calcium; es findet sich als Oxyd in großen Massen und sehr verbreitet an Kohlensäure, Schwefel- und Phosphorsäure gebunden und im Flußspath als Fluorcalcium. Durch Electrolyse des schmelzenden Chlorcalciums erhält man das Metall isolirt. Es ist gelb, oxydirt sich ungemein leicht und bildet das Calciumoxyd CaO,

Calcium.

Digitized by Google

Kalk, Aetzkalk, welches gewöhnlich durch heftiges Glühen von kohlensaurem Kalk erzeugt wird, wobei die Kohlensäure entweicht und das Oxyd unverbunden zurückbleibt. Es ist, so hergestellt: weiß, amorph, höchst feuerbeständig und verbindet sich mit Wasser zusammengebracht unter bedeutender Erwärmung zu Kalkhydrat: CaO, HO, welches beim Erhitzen leicht wieder das Wasser abgibt. Das Hydrat (der gelöschte Kalk) löst sich in 800 Theilen Wasser zu einer alkalischen Flüssigkeit, dem Kalkwasser, mit Wasser angerührt bildet es einen zarten plastischen Brei. Der Kalk ist eine kräftige Base und findet als solche in den chemischen Laboratorien und Fabriken die vielseitigste Verwendung. In weit größeren Massen wird er aber zur Bereitung des Mörtels benutzt, dessen Wirksamkeit als Bindemittel vorzüglich auf dem allmäligen Austrocknen des breiartigen Gemenges von Sand und Kalk beruht. Kalk.

Das Brennen des Kalkes bezweckt, den natürlichen kohlensauren Kalk, Kalkstein, durch hinreichende Hitze in Aetzkalk überzuführen, wobei immer auf den Umstand Rücksicht genommen wird, daß das Entweichen der Kohlensäure durch über die Kalksteinstücke hinstreichende Gase sehr erleichtert wird, weßhalb man in allen Fällen die Verbrennungsgase der Feuerung durch den passend geschichteten Kalkstein gleiten läßt. Die Kalköfen haben gewöhnlich eine sehr einfache Einrichtung und bestehen meistens aus einem roh hergerichteten Schachtofen, in welchem zunächst über dem Boden aus größeren Steinstücken eine Art Gewölbe gebildet wird, über welches man dann den Kalkstein aufschichtet. Unter dem Gewölbe wird dann durch etwa drei Tage ein lebhaftes Feuer unterhalten und der Kalk gar gebrannt. An der Luft zerfällt gebrannter Kalk allmälig unter Aufnahme von Wasser und Kohlensäure zu einem weißen Pulver. Kalkbrennen.

Von den Haloidsalzen des Calciums sind Chlor- und Fluorcalcium die wichtigsten. Das erstere $CaCl$ trifft man im Steinsalz, Meer- und auch im Quellwasser. Es ist im Wasser ungemein löslich, krystallisirt daraus mit 6 Atomen Krystallwasser, zerfließt an der Luft ungemein rasch, läßt sich in starker Hitze schmelzen und bildet nach dem Erkalten eine krystallinische Masse, welche wegen ihrer Fähigkeit, Wasserdampf aus den Gasen rasch und sehr vollständig wegzunehmen, zum Trocknen derselben allgemein benutzt wird. Das Fluorcalcium, der Flußspath $CaFl$, dessen Beschreibung sich in der Mineralogie findet, ist für uns als das einzige Material zur Bereitung von Fluorverbindungen von Belang. Chlorcalcium. Flußspath.

Von den Sauerstoffsalzen des Calciums erscheint der neutrale kohlensaure Kalk wegen seiner großen Verbreitung als das wichtigste. Der Kalkspath, in sehr vielen Varietäten auftretend, der Kalkstein als mächtige Gebirgsart, die Schalen und Gerüste der Muscheln und Korallen, der Vogeleier, sind der Hauptmasse nach kohlensaurer Kalk, von dem sich auch eine geringe Menge in den Knochen der höheren Thiere vorfindet. Künstlich erhält man kohlensauren Kalk, wenn Kalkwasser, an der Luft Kohlensäure anziehend, sich in das neutrale Salz verwandelt, welches sich dann in kleinen durchsichtigen Rhomboëdern abscheidet oder als einen fein-krystallinischen weißen Niederschlag durch Doppelzersetzung beim Vermischen eines gelösten Kalksalzes mit kohlensaurem Alkali: $CaO, NO_5 + NaO, CO_2 = CaO, CO_2 + NaO, NO_5$. Die Krystalle des Kalkspathes gehören dem drei- und einaxigen Systeme an, doch findet man auch natürlich als Arragonit neutralen Kalk in Prismen des ein- und einaxigen Systems, welche beim Erhitzen in kleine rhomboedrische Kalkspathkrystalle zerfallen. Der neutrale kohlensaure Kalk ist im Wasser unlöslich. Durch Kalkspath. Arragonit.

Digitized by Google

kohlensäurehaltiges Wasser wird er aber in lösliches zweifaches kohlensaures Salz übergeführt, welches sich häufig in Quellen und Mineralwässern vorfindet, beim Erwärmen oder Verdunsten derselben jedoch wieder Kohlensäure abgibt, und so entstehen die Ablagerungen von Kalksinter u. dergl., welche wir an vielen Stellen beobachten. Der schwefelsaure Kalk CaO,SO_3 findet sich wasserfrei als Anhydrit reichlicher, an manchen Stellen in großen Massen, mit 2 Atomen Krystallwasser als Gyps. In solcher Gestalt wird das Salz auch erhalten, wenn eine lösliche Kalkverbindung mit Schwefelsäure oder schwefelsauren Salzen zusammentrifft, wo sich der Gyps in feinen nadelförmigen Krystallen abscheidet. Er löst sich in 380 Theilen Wasser. Wird er auf etwa 160° erwärmt, so entweicht das Krystallisationswasser. Das wasserfreie Salz bildet, in Pulverform mit Wasser angerührt, einen Brei, der nach kurzer Zeit fest wird, indem der entwässerte Gyps wieder sein Krystallwasser aufnimmt, so ein Gewebe kleiner Krystallnadeln bildet, welche noch einen Ueberschuß von Wasser mechanisch einschließen und damit das Erstarren des Breies hervorrufen. Es ist bekannt, daß man von dieser Eigenschaft des entwässerten (gebrannten) Gypses zur Anfertigung von Abgüssen, von Mörtel u. s. w. die vielseitigste Verwendung macht. Das Brennen des Gypses erheischt aber die Vorsicht, daß das Salz nicht über 200° erhitzt wird, da es bei dieser Temperatur zwar das Wasser verliert, aber gleichzeitig unfähig wird, es wieder aufzunehmen. Mit Phosphorsäure geht Kalk mehrere Verbindungen ein. Die interessanteste derselben ist der neutrale dreibasische phosphorsaure Kalk: $3CaO,cPO_5$. Er findet sich krystallisirt als Apatit, auch unkrystallinisch (Phosphorit), tritt nur an wenigen Stellen reichlich auf, ist dagegen aber sehr verbreitet und bildet das Material, welchem zunächst die Pflanzen ihren Bedarf an phosphorsaurem Kalk verdanken und die Aufnahme desselben durch die Thiere vermitteln, welche ohne Ausnahme für ihre Lebensvorgänge dieses Salzes bedürfen, namentlich die höheren Thiere zur Herstellung ihrer Knochen (s. S. 476).

Gyps. Phosphorsaurer Kalk.

Der Chlorkalk ist ein Gemenge von unterchlorigsaurem Kalk mit Chlorcalcium und Kalkhydrat, welches als Bleichmaterial eine sehr ausgedehnte Benutzung findet. Man stellt den Chlorkalk in der Weise dar, daß auf dem Boden von Kammern Kalkhydrat ausgebreitet und dieser dann mit zuströmendem Chlorgas so lange in Berührung gelassen wird, als das Hydrat letzteres noch absorbirt. Die Hälfte des Hydrats erleidet dabei die schon Seite 482 erörterte Umwandlung und bleibt dem Reste mechanisch beigemengt. Hinsichtlich des chemischen Charakters schließen sich dem Calcium Barium und Strontium an, deren Oxydhydrate aber im Wasser weit leichter löslich sind, als das Kalkhydrat, während die schwefelsauren Salze dagegen eine viel geringere Löslichkeit zeigen.

Chlorkalk.

Erdmetalle: Magnesium und Aluminium.

Bei den Metallen der eigentlichen Erden findet hinsichtlich ihres chemischen Charakters lange nicht so viel Aehnlichkeit statt, wie unter den früher besprochenen Gruppen. Das erdige Aussehen der Oxyde ist so ziemlich die einzige gemeinschaftliche Eigenschaft, welche wir hervorheben können. Die meisten sogenannten Erdmetalle gehören zu den Seltenheiten und haben daher nur eine geringe Bedeutung. Unter ihnen sind Magnesium und Aluminium weitaus die wichtigsten. Das erstere Metall findet sich massenhaft als Oxyd in Gestalt von kohlensaurem Salz, theils für sich, theils mit kohlensaurem Kalk ver-

Magnesium.

Digitized by Google

bunden oder gemengt. Zudem trifft man im Meerwasser und Steinsalz merkliche Mengen von Chlormagnesium und in den Bitterwässern schwefelsaures Magnesiumoxyd, endlich zahlreiche Verbindungen der genannten Base mit Kieselsäure. Das unverbundene Metall ist sehr dehnbar, schmilzt in geringer Hitze, hat einen bedeutenden Glanz und silberweiße Farbe; in der Wärme und bei Gegenwart von Säuren oxydirt es sich leicht. Das Magnesiumoxyd, Magnesia, Bittererde, Talkerde: MgO, läßt sich durch Glühen der kohlensauren Bittererde leicht erhalten und bildet ein weißes, lockeres, sehr streng-flüssiges, geruch- und geschmackloses Pulver, die gebrannte Magnesia der Pharmaceuten. Wasser verbindet sich damit unter geringer Wärmeentwicklung zu Magnesiahydrat: MgO, HO, welches in 5000 Theilen Wasser sich löst und eine sehr schwach alkalische Flüssigkeit damit bildet. Die Bittererde hat im Vergleich mit den früher besprochenen Basen geringe Affinität zu den Basen, liefert jedoch eine ganze Reihe von constant zusammengesetzten Salzen, die meist einen unangenehm bittern Geschmack haben, woher ihr Name rührt. Bittererde.

Das neutrale kohlensaure Salz, natürlich als Magnesit auftretend, findet sich reichlicher mit kohlensaurem Kalk verbunden, als Bitterspath und Dolomit. Durch Doppelzersetzung eines löslichen Magnesiasalzes mit kohlensaurem Alkali erhält man immer unlösliche Verbindungen, welche neben dem neutralen Salze auch Bittererdehydrat enthalten. Eine solche ist auch die als Heilmittel verwendete weiße Magnesia. In den Bitterwässern, im Meerwasser und Steinsalz findet sich die schwefelsaure Bittererde, das Bittersalz: MgO, SO_3, welches aus wässerigen Lösungen beim Verdunsten mit 7 Atomen Krystallwasser in Prismen des ein- und einaxigen Systems krystallisirt und ebenfalls zu Heilzwecken verwendet wird. Bringt man zu der Lösung desselben schwefelsaures Kali oder Ammoniumoxyd und dampft ein, so entstehen Krystalle eines Doppelsalzes, welche aus gleichen Atomen der beiden Salze und 6 Atomen Wasser zusammengesetzt sind. Kohlensaure Bittererde. Bittersalz.

Aluminium trifft man wohl nur spärlich als reines Oxyd oder Fluormetall, aber in großen Massen in zahlreichen natürlichen kieselsauren Salzen, und es gehört zu den verbreitetsten Elementen. Im unverbundenen Zustande ist es ziemlich streng-flüssig, zinnweis, hat ein spec. Gew. von 2,56 und verhält sich gegen Sauerstoff und oxydirende Agentien sehr indifferent, weßhalb, nachdem in neuester Zeit diese Eigenschaften von einigen französischen Chemikern erkannt wurden, diese von der vielseitigen Benutzbarkeit des Aluminiums die größten Erwartungen hegen, die aber wegen der zwar erleichterten, aber keineswegs ausreichend billigen Darstellungsweise des Aluminiums kaum in Erfüllung gehen dürften. Das einzige bekannte Oxyd des Aluminiums ist die Thonerde, Alaunerde, welche sich im wasserfreien Zustande als Saphir, Rubin und Corund findet und die künstlich leicht durch Glühen ihres Hydrates als ein weißes lockeres Pulver erhalten werden kann, welches erst im Knallgasgebläse zu einer glasartigen Masse schmilzt, ohne Geruch und Geschmack und im Wasser unlöslich ist. Dasselbe gilt von dem Hydrate, welches sich aus der Lösung der salpetersauren Thonerde, auf Zusatz von Ammoniakflüssigkeit, unter Bildung von salpetersaurem Ammoniumoxyd, in Gestalt eines durchscheinend-gallertartigen Körpers abscheidet. Die Formel der Thonerde ist: Al_2O_3, die des Hydrats: $Al_2O_3, 3HO$. Die Thonerde ist somit nach einem Typus zusammengesetzt, welcher von dem der früher erwähnten Basen abweicht, wie überhaupt dießfalls mancher Unterschied wahr- Aluminium. Thonerde.

Digitized by Google

genommen werden kann, während sich andererseits eine große Aehnlichkeit mit anderen entsprechend zusammengesetzten Oxyden herausstellt. Diese sind gleich der Thonerde nämlich ziemlich schwache Basen, deren Salze sehr leicht einen Theil der Säuren abgeben und überhaupt eine große Neigung besitzen, basische Verbindungen hervorzubringen. Dagegen lassen sich die Oxyde dieser Reihe auch als schwache Säuren betrachten, von denen manche, namentlich eben die Thonerde, leicht von Kali- oder Natronlauge gelöst wird.

Chloraluminium.

Unter den Haloidverbindungen des Aluminiums verdient das Chloraluminium Al_2Cb_3 hervorgehoben zu werden; es ist flüchtig krystallinisch, gelblich gefärbt, schmilzt leicht und siedet bei 180°. Man stellt es dar, indem über ein inniges Gemenge von Thonerde mit Kohle unter gleichzeitigem Erhitzen Chlorgas geleitet wird, wobei der Sauerstoff mit dem Kohlenstoff Kohlensäure liefert, während sich das Chlor mit dem Aluminium verbindet. Die

Schwefelsaure Thonerde.

schwefelsaure Thonerde, durch Behandlung von Thonerde mit Schwefelsäure zu erhalten, ist im Wasser leicht löslich und krystallisirt aus demselben in perlmutterglänzenden dünnen Blättchen oder Nadeln, von der Formel $Al_2O_3, 3SO_3 + 18\,Aq$. Zudem sind auch basische Salze bekannt. Wird eine wässerige Lösung der neutralen schwefelsauren Thonerde mit einer solchen von schwefelsaurem Kali gemengt, so scheidet sich bald in deutlichen Octaedern

Alaun.

des regulären Systems ein Doppelsalz ab, welches Alaun heißt, nach der Formel: $Al_2O_3, 3SO_3 + KO, SO_3 + 24\,Aq$ zusammengesetzt ist und sich auch, obwohl spärlich, natürlich findet. Der Alaun ist im Wasser bei gewöhnlicher Temperatur zu 1 auf 13 Theile löslich, schmilzt schon bei 100° in seinem Krystallisationswasser, bläht sich weiter erhitzt zu einer weißen voluminösen Masse auf (gebrannter Alaun) und wird als ein leicht rein und krystallisirt zu erhaltendes Thonerdesalz sehr mannigfaltig verwendet, insbesondere in der Färberei, zum Weißgerben, bei Herstellung von Lackfarben, als Heilmittel u. s. w. Die große chemische Aehnlichkeit des Ammoniums mit dem Kalium beurkundet sich unter andern auch dadurch, daß schwefelsaures Ammoniumoxyd gleich dem Kalisalze mit der schwefelsauren Thonerde unter denselben Verhältnissen ein dem Kalialaun vollkommen gleichendes Doppelsalz liefert.

Gewinnung des Alauns.

Die vielseitige Verwendung des Alauns bedingt seine fabriksmäßige Darstellung. Im Kirchenstaate zu Tolfa dient hierzu der Alaunstein, ein Mineral, welches man aus bereits fertigem Kalialaun und Thonerdehydrat zusammengesetzt betrachten kann. Wird der Alaunstein schwach geglüht, so erleidet er eine Veränderung, wornach er dann an Wasser Alaun abgibt, was vor dem Glühen nicht stattfindet. Auf dieses Verhalten stützt sich die

Römischer Alaun.

Fabrikation des römischen Alauns, der, als vorzüglich rein, besonders geschätzt wird, indem er ganz eisenfrei ist, was bei der Benützung des Alauns in der Färberei, wo durch einen Eisengehalt die Farbentöne modificirt werden, maßgebend erscheint. Die bei weitem größte Menge von Alaun wird jedoch in anderer Weise erzeugt. Die Alaunerze, welche als Rohstoff dienen, sind schieferige oder erdige, von Schwefelkies (Schwefeleisen) durchzogene Thone, die man mit Brennstoff in große Haufen schichtet und, nachdem diese angezündet, einem allmäligen Röstprozesse überläßt, bei welchem der Schwefel des erwähnten Kieses sich zu Schwefelsäure oxydirt, von der ein großer Theil an die Thonerde des Thons tritt, während sich zugleich schwefelsaures Eisenoxydul bildet. Ist dieses Rösten vollendet, so laugt man das Produkt mit Wasser aus, dampft die gewonnene Lösung der schwefelsauren Thonerde gehörig ein und versetzt die erkaltete Lauge mit schwefelsaurem

Digitized by Google

Kali oder Ammoniumoxyd, hindert durch Umrühren die Bildung größerer Alaunkrystalle, um die Beimengung von Eisenverbindungen möglichst zu verhüten und reinigt das Produkt durch Auflösen und Umkrystallisiren.

Das eben besprochene Salz ist uns ein wichtiges Beispiel einer Erscheinung, welche sich vielseitig beobachten läßt und uns beweist, daß gewisse Körper bei der Bildung eines Krystalles andere vollkommen ersetzen können, ohne daß die ursprüngliche Gestalt des Krystalles die geringste Veränderung erlitte. Man nennt solche, beim Ausbau eines Krystalls einander vertretende Körper isomorph. Die Isomorphie beschränkt sich aber nur auf solche Substanzen, welche auch gleichzeitig eine gleiche Zusammensetzungsweise darbieten. Die Alaune gehören hierher. Nicht nur die Thonerde, sondern auch das Eisenoxyd, Fe_2O_3, Manganoxyd, Mn_2O_3, und Chromoxyd, Cr_2O_3, liefern mit schwefelsaurem Kali oder Ammoniumoxyd Doppelsalze von völlig gleicher Krystallform und Zusammensetzung. Alle enthalten 24 Atome Krystallwasser und können demnach in den verschiedensten Verhältnissen zusammen krystallisiren, ohne daß die Form eine Veränderung erlitte. Auch das schwefelsaure Natron kann mit den genannten schwefelsauren Salzen Alaune, von derselben Constitution und Form liefern und wir kennen demnach eine ganze Reihe solcher isomorpher Salze, wo sich einerseits Thonerde, Manganoxyd, Eisenoxyd und Chromoxyd, andererseits Kali, Natron und Ammoniumoxyd, in den wechselndsten Verhältnissen vertreten. Von den bis jetzt besprochenen Substanzen wären noch als wichtige Beispiele der Isomorphie Arsen- und Phosphorsäure zu erwähnen, die bei gleicher Zusammensetzungsweise in allen entsprechenden Salzen völlig isomorph sind. Schwefelsäure, Selensäure, Mangansäure und Chromsäure sind ebenfalls isomorph, so wie Brom, Chlor, Jod und Fluor in ihren Verbindungen mit Kalium und Ammonium. Isomorphie.

Bezüglich der übrigen zur Gruppe der Erdmetalle gehörigen Elemente mögen die Namen derselben hier genügen. Es sind: Yttrium, Erbium, Terbium, Thorium, Zirkonium, Glycium, Cerium, Lanthanium und Didymium.

Die Silikate: Glas, Thon.

Wir haben uns bisher enthalten, über die kieselsauren Salze der besprochenen Metalloxyde etwas näheres mitzutheilen. Es ist an der Zeit, das Wichtigste darüber hier nachzutragen. Es wurde schon oben erörtert, in welch mannigfaltigen und schwankenden Verhältnissen die Kieselsäure sich mit den Basen zu verbinden vermag. Die Natur bietet uns eine ungemein große Reihe der mannigfaltigst zusammengesetzten Silikate, welche wir durch Kunstprodukte noch namhaft erweitert haben. Unter letzteren sind einige wegen ihrer vielseitigen Verwendbarkeit vom großer Bedeutung. Dieß gilt namentlich vom Glas, dessen wesentlichste Eigenschaften als allgemein bekannt hier wohl vorausgesetzt werden dürfen. Es gibt kein einfaches kieselsaures Salz, d. h. mit einer einzigen Base, welches den Anforderungen, die wir an brauchbares Glas zu stellen pflegen, genügte; denn die kieselsauren Alkalien sind, falls nicht große Mengen von Säure mit dem Alkali zusammengeschmolzen werden, im Wasser löslich, im entgegengesetzten Falle aber sehr strengflüssig und daher zur Bearbeitung untauglich. Letzteres gilt allgemein von den kieselsauren alkalischen Erden, während Gemenge von Alkali- und Erdsilikaten beim Schmelzen ein brauchbares Glas liefern. Die gewöhnlichen Gläser sind denn auch Gemische von mehrfach, gewöhnlich zweifach-kieselsaurem Glas.

Digitized by Google

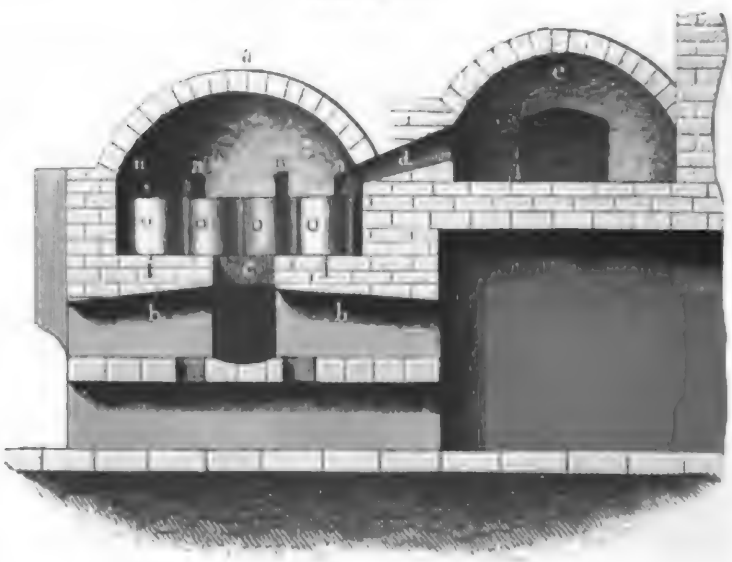
Kali oder Natron, mit dem entſprechenden Kalkſalz. Statt letzterem wird, namentlich behufs der Herſtellung von ſchönen geſchliffenen Luxusgläſern oder für optiſche Zwecke, kieſelſaures Bleioxyd angewendet, welches das Glas leicht ſchmelzbar macht und ihm ein hohes Lichtbrechungsvermögen ertheilt. Kali und Kalk liefern das ſchwerſt ſchmelzbare, aber dagegen auch, falls die Materialien rein zur Verwendung kamen, das ſchönſte und farbloſeſte Glas; während Natron immer dem Glaſe eine bläuliche Färbung ertheilt, daher die Natrongläſer zur Herſtellung von dickwandigen Prunkgefäßen und dergl., wo die erwähnte Färbung deutlicher hervortritt, ſich nicht eignen. Es iſt klar, daß die Qualität des Glaſes nicht nur von der richtigen Zuſammenſetzung des Produktes, ſondern zugleich von der Reinheit der Materialien abhängt. Die Kieſelſäure kömmt nach Bedarf als reinſter Bergkryſtall, Quarz, Quarzſand, endlich in Geſtalt von manchen natürlichen Silikaten zur Verwendung. Die alkaliſche Baſe liefert reineres kohlenſaures Kali, Pottaſche, ſelbſt ausgelaugte Holzaſche, Soda und für Natrongläſer auch Glauberſalz, in welchem Falle man Kohle zuſetzt, die beim Schmelzen die Kohlenſäure zu ſchwefliger Säure reducirt, worauf ſich das Natron mit der Kieſelſäure verbindet. Der Kalk wird als Kalkſtein verwendet und erforderlichenfalls das Bleioxyd in Geſtalt von Bleiglätte oder Mennige (ſ. unten). Falls dieſe Subſtanzen, wie meiſtens geſchieht, unrein ſind, finden ſich die fremden Beimengungen zum größten Theil im Glaſe wieder. Als ſolche wären hervorzuheben, Eiſenoxydul, Eiſenoxyd, Manganoxydul, Bittererde und Thonerde. Da das Eiſenoxydul das Glas grün färbt, während die entſprechende Menge Eiſenoxyd eine viel unmerklichere gelbrothe Farbe hervorruft, pflegt man bei Herſtellung beſſerer Glasſorten arſenige Säure oder Braunſtein (Manganſuperoxyd) zuzuſetzen, welche das Eiſenoxydul in Oxyd umwandeln und dadurch die erwähnte intenſivere Färbung verhindern.

Materialien für Glasbereitung.

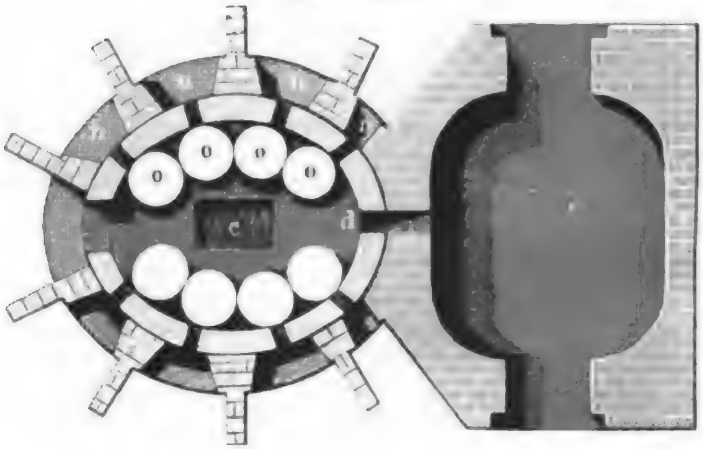
Alle erwähnten Materialien müſſen vor der Verwendung gepulvert und innig gemiſcht werden, wobei nicht zu überſehen iſt, daß in der Hitze des Glasofens ſich ein Theil der Alkalien verflüchtigt, und ſomit für die Bildung des Glaſes verloren geht. Hierauf ſchreitet man zum Schmelzen des Glaſes in den Glasöfen, deren Einrichtung aus Fig. 264 (I. und II.) hervorgeht. Der Ofen a, hier rund, häufig aber auch viereckig conſtruirt, iſt von einem Gewölbe überdeckt, welches die aus dem Feuerraume b durch die Oeffnung c aufſteigende

Der Glasofen.

(Fig. 264 I.)



(Fig. 264 II.)



Flamme in ihrer Wirkung unterſtützt, indem die Wärme reflectirt wird. Die heißen Gaſe ziehen nicht durch eine Eſſe ſondern durch den Canal d in den Nebenofen e, welcher zur Vorbereitung der Materialien häufig auch als Kühlofen u. ſ. w. benutzt wird. Nicht ſelten ſind mehrere Nebenöfen angebracht. Eine aus feuerfeſten Steinen conſtruirte Erhöhung i, die Bank, nimmt die aus Thon angefertigten, tiegelartigen Schmelzgefäße, die Glashäfen o, auf, in welche der Glasſatz durch die Arbeitsöffnungen n eingetragen wird. Sobald die Maſſe geſchmolzen und die etwa ſich darüber anſammelnden Unreinigkeiten abgeſchöpft wurden, läßt man die Temperatur im Ofen ſoweit ſinken, daß die Glasmaſſe hinreichend zähflüſſig wird, um ſich durch Ausblaſen und ähnliche Operationen Formen zu laſſen. Zu dieſem Behufe holt der Arbeiter durch die Oeffnungen n die flüſſige Glasmaſſe heraus und kann ſie, falls das Glas vor Beendigung des Geräthes ſchon erſtarrte, durch die Arbeitsöffnung wieder im Ofen entſprechend anwärmen. Da zu raſches Abkühlen die Glastheilchen in einem gewiſſen Zuſtande der Spannung erhält, wodurch bei ſpäterem ſchnelleren Temperaturwechſel leicht ein Zerſpringen des Glaſes veranlaßt wird, muß das fertige Glas in beheizten Räumen, die erſt allmälig abkühlen, den ſogenannten Kühlöfen, längere Zeit verweilen. Zur Vervollſtändigung mag hier die Zuſammenſetzung einiger wichtigerer Glasſorten mitgetheilt werden. Engliſches Crownglas entſpricht nahezu der Formel: $3KO, 5SiO_3 + 3CaO, 5SiO_3$; ſchönes böhmiſches Kryſtallglas iſt: $2KO, 5SiO_3 + 2CaO, 5SiO_3$; Tafelglas aus Frankreich: $3NaO, 4SiO_3 + 3CaO, 4SiO_3$; franzöſiſches Spiegelglas: $4(NaO, 2SiO_3) + CaO, 2SiO_3$; franzöſiſches Kryſtallglas, Bleiglas: $KO, 2SiO_3 + PbO, 2SiO_3$.

Glasſorten.

Luxusgläſer werden bekanntlich ſehr häufig gefärbt, wozu meiſtens Metalloxyde dienen, von deren Fähigkeit, Gläſer zu färben, ſchon bei Borax die Rede war. Man färbt mit Kobaltoxydul blau, mit Chromoxyd und Kupferoxyd grün, mit Kupferoxydul oder Gold roth, mit Uranoxyd gelb u. ſ. w. Ein Zuſatz von phosphorſaurem Kalk macht das Glas trübe, durchſcheinend (Beinglas). Zinnoxyd macht das Glas undurchſichtig und wird bei der Herſtellung der ſogenannten Email verwendet. Die Smalte, bekanntlich ein blaues Farbmaterial, iſt durch Kobaltoxydul blaugefärbtes Kaliglas, welchem aber kein Kalkſalz beigemengt iſt. Schmilzt man 10 Theile kohlenſaures Kali mit 15 Theilen Quarz zuſammen, ſo erhält man das ſogenannte Waſſerglas, welches nach der Formel: $3KO, 8SiO_3$ zuſammengeſetzt iſt und nach längerem Kochen mit Waſſer ſich darin löſt; ſo eine Flüſſigkeit bildend, welche als Anſtrich, namentlich bei leicht entzündlichen Gegenſtänden, da es einen gleichförmigen Ueberzug bildet, eine zweckmäßige Anwendung findet.

Smalte

Waſſerglas.

Digitized by Google

Thon. Während das Glas ausschließlich eine industrielle Bedeutung hat, ist eine andere Art von Silikaten, nicht nur ihrer vielseitigen technischen Verwendbarkeit wegen, sondern auch des großen Einflusses halber, welchen sie auf die Entwicklung der Pflanzen ausübt, von unermeßlicher Bedeutung. Es ist dies der Thon in seinen zahlreichen Modifikationen. Die Entstehung dieses Naturproduktes läßt sich sammt seinen Eigenschaften am besten an dem reinsten bekannten Thon, dem sogenannten Porzellanthon, beobachten. Dieser ist farblos. Mit Wasser zusammengebracht liefert er einen bildsamen plastischen Brei, welcher sich durch passende mechanische Behandlung in die verschiedensten Formen bringen läßt. Nach dem Austrocknen hat sich die Masse gleichförmig zusammen gezogen, ohne zu reißen, wenn nicht Wärme angewendet wurde. In diesem Zustande zeigt der Thon noch alle seine ursprünglichen Eigenschaften und gibt mit Wasser neuerdings den zähen plastischen Brei. Wird er aber bis zu starkem Glühen erhitzt, so entweicht nicht nur das hygroskopische Wasser, sondern auch solches, welches chemisch gebunden im Thon vorhanden gewesen; die Theilchen desselben ziehen sich merklich zusammen (der Thon schwindet), backen aber zugleich so fest an einander, daß nun eine zusammenhängende feste poröse Masse (der gebrannte Thon) entstanden ist. Welche umfassende Anwendung von dieser Eigenschaft des Thons zur Anfertigung der verschiedensten Geräthe gemacht wird, dürfte dem Leser wohl erinnerlich sein; wir fügen noch hinzu, daß reiner Thon sehr feuerfest ist und sich somit zur Herstellung von Ofenwänden, Schmelzgefäßen und dergl. vorzüglich eignet.

Entstehung des Thons. Die Lagerstätten des Porzellanthons (Kaolin's), sowie seine Zusammensetzung, geben uns über die Entstehung desselben hinreichenden Aufschluß. Man findet nämlich den Thon nicht selten über dem Material aufliegend, welches zu seiner Bildung Veranlassung gab, und dieses sind der Feldspath oder ähnlich zusammengesetzte Mineralien. Der Feldspath stellt ein Doppelsilikat von Thonerde und Kali vor, in anderen Arten des Feldspaths findet sich Natron, zudem nicht selten Eisenoxyd und andere Verunreinigungen. Obwohl diese Mineralien scheinbar gegen die kräftigsten chemischen Agentien sich indifferent verhalten und der Einwirkung der stärksten Mineralsäuren zu widerstehen vermögen, unterliegen sie dennoch, falls Luft und Wasser zu ihnen gelangen können, allmälig durch Vermittelung der allverbreiteten Kohlensäure einer Zersetzung, welche damit endigt, daß das Alkali größtentheils als kohlensaures und saures kieselsaures Salz mit dem Wasser fortgeht, während abgeschiedene Kieselsäure im Hydratzustande und basisch kieselsaure Thonerde, welche zugleich Wasser aufgenommen und chemisch gebunden hat, zurückbleiben. Dieses wasserhaltige Thonerdesilikat ist eben der Thon. Gewöhnlich entspricht er in seiner Zusammensetzung der Formel: $Al_2O_3, SiO_3, 2HO$. Beim Brennen giebt er das Hydratwasser ab. Da nun aber den feldspathartigen Mineralien sehr häufig auch andere Silikate beigemengt sind, deren Verwitterung langsamer vorschreitet, da ferner die Substanzen, aus welchen der Thon entstand, diesem zum Theil noch unverändert beigemengt sein können, auch in sehr vielen Fällen der Thon von seinen ursprünglichen Lagerstätten weggeschwemmt, auf seinem Wege mit anderen Stoffen mechanisch gemengt und dann wieder abgelagert worden ist, so erklärt sich daraus die große Verschiedenheit, welche wir bei den unreineren Thonsorten nicht nur hinsichtlich ihres Aussehens, sondern bezüglich ihrer Bildsamkeit, Feuerbeständigkeit u. s. w. wahrnehmen können. Die braune Farbe vieler Thonsorten rührt von Eisen-

Digitized by Google

und Manganoxyd her. Diese Basen, sowie ein merklicher Gehalt an Alkalien oder Kalk, der sich häufig dem Thon als kohlensaures Salz mechanisch beigemengt findet, machen den Thon leicht schmelzbar. Viel fremde Beimengungen stimmen die Plasticität desselben herab.

Ackerboden.

Die Bildung des Thons geht unaufhörlich an vielen Stellen der Erdoberfläche vor sich und dadurch wird dem circulirenden Wasser beständig lösliches Alkalisalz dargeboten. Jeder Boden, auf welchem Pflanzen gedeihen, enthält Thon und meistens noch reichlich Trümmer von Mineralien, die ihn bei forschreitender Verwitterung neuerdings liefern können, wobei die den Pflanzen nöthigen Alkalien in einem assimilirbaren Zustande frei werden. Abgesehen von dieser sehr wichtigen Funktion, ist der Thon für die Entwickelung der Pflanzen noch in so fern von großer Bedeutung, als er im hohen Grade die Fähigkeit besitzt, kohlensaures Ammoniak und Wasser, zwei Hauptfactoren für die Bildung der organischen Stoffe in den Pflanzen, zu absorbiren und kräftig zurückzuhalten.

Thonwaaren.

Wenden wir uns zur Benützung des Thons bei Herstellung der sogenannten Thonwaaren, so mag angeführt werden, daß diese sich in zwei große Gruppen theilen lassen. Die erste umfaßt jene Produkte, deren Masse nicht porös, sondern dicht, halbgeschlossen, hart und klingend ist. Hierher gehören das Porzellan und Steinzeug. Die zweite Gruppe umfaßt die porösen Thonwaaren, die man, falls sie Flüssigkeiten aufnehmen sollen, mit einem glasartigen Ueberzug, der Glasur, versieht.

Porzellan.

Das Porzellan zeichnet sich vor allen übrigen Thonwaaren dadurch aus, daß es durchscheinend ist; eine große Härte, Farblosigkeit und bedeutende Widerstandsfähigkeit gegen Temperaturveränderungen zeigt, welche bei ordinären Waaren leicht ein Zerspringen derselben veranlassen. Man verfertigt das Porzellan aus dem oben erwähnten Kaolin, dem man etwas Feldspath zusetzt, welcher in der starken Hitze des Porzellanofens schmilzt und mit dem Thon die halb geschmolzene durchscheinende Masse liefert, welche eben das Porzellan charakterisirt. Diese Bestandtheile der Porzellanmasse werden zunächst möglichst fein gemahlen und geschlämmt, dann in den erfahrungsmäßig ausgemittelten Verhältnissen innig gemischt, von dem reichlich vorhandenen Wasser durch sehr allmäliges Austrocknen so weit befreit, daß der Rückstand bildsam ist, dann geformt, und nachdem die so vorbereiteten Geräthe ausgetrocknet sind, vorerst in einer minder heißen Abtheilung des Porzellanofens gebrannt, wobei der Thon die oben erwähnte Beschaffenheit erhält und porös geblieben ist. Man nennt das so vorbereitete Porzellan Biscuit. Um die Gefäße hierauf mit einem glasartigen glatten Ueberzug versehen zu können, taucht man die Masse nun in Wasser, worin sich ein fein geschlämmtes Gemenge von Kaolin, Feldspath und etwas Gyps schwebend befindet, welches beim Brennen vollkommen schmilzt, während die eigentliche Porzellanmasse nur in einen weichen halbgeflossenen Zustand übergeht. Dann wird wieder getrocknet, man setzt endlich die so vorbereiteten Geräthe in Kapseln aus feuerfesten Thon, schichtet diese in den Porzellanofen und schreitet hierauf zum Beheizen desselben. Der Porzellanofen besteht aus 2 bis 3 über einander gestellten gewölbten Kammern, worin sich eben die Kapseln befinden, und wird durch mehrere neben dem Ofen befindliche Feuerungen beheizt. Die Flamme zieht durch zahlreiche Kanäle in den Ofen, vertheilt sich dort zwischen den passend eingeschichteten Kapseln und wird in ihrer Richtung noch geregelt durch viele Kanäle, welche, in dem Gewölbe des Ofens angebracht,

Digitized by Google

die heißen Gase gleichzeitig in das zweite Stockwerk bringen, wo gewöhnlich das Biscuitbrennen vor sich geht. Anfangs wird gelinder gefeuert, später aber heftig, wobei dann das Zusammensintern der Porzellanmasse, wie das Glattschmelzen der Glasur endlich vor sich geht. Um das Porzellan mit Farben zu verzieren, dienen ebenfalls die oben erwähnten färbenden Metalloxyde, die man, wo es angeht, gleich unter der Glasur aufträgt, oder, falls die hohe Temperatur des Ofens die Farbe verändern würde, wird, nachdem das Geräthe fertig gebrannt ist, das färbende Oxyd, mit leicht schmelzbarem Bleiglas gemengt, aufgetragen und nachträglich in gelinderer Hitze aufgeschmolzen.

Steinzeug. Man findet nicht selten gefärbten sehr plastischen Thon, der beim Brennen ebenfalls eine halbgeflossene Masse liefert, welche aber zum Unterschiede von Porzellan nicht durchscheinend ist. Aus solchem Thon verfertigt man das Steinzeug, Steingut, in verschiedenen Qualitäten und Abänderungen. Es bedarf natürlich, da es nicht porös ist, keiner Glasur und wird gewöhnlich in Oefen gebrannt, deren Einrichtung an die der Flammenöfen erinnert und welche im Gegensatze zu den stehenden Porzellanöfen, liegende Oefen heißen.

Fayence. Unter Fayence versteht man poröse, mit einer Glasur versehene Thonwaare. Als Glasur dient in allen Fällen ein leicht schmelzbares Bleiglas, welches fein gepulvert und im Wasser suspendirt in ähnlicher Weise auf dem gebrannten Geräthe befestigt wird, wie die Glasurmasse des Porzellans. Ist der dazu verwendete Thon nach dem Brennen farblos, so nimmt man eine durchsichtige Glasur und erzeugt dergestalt feine Fayencewaare. Häufig ist der Thon nach dem Brennen, wegen reichlicherer Beimengung von Eisenoxyd, gelb oder bräunlich, und dann setzt man der Glasurmasse Zinnoxyd zu, welches, wie oben erwähnt, den glasigen Ueberzug undurchsichtig macht und somit die Mißfarbe verdeckt. Man nennt derlei Fayence ordinär.

Bei der gewöhnlichen Töpferwaare fällt die Rücksicht auf die Farbe des Thons völlig weg. Man gibt derselben die Glasur durch Aufstreuen von Bleiglätte auf das noch feuchte geformte Geräthe und brennt somit Thon und Glasur gleichzeitig, indem das Bleioxyd auf der Oberfläche mit den Bestandtheilen des Thons ein leicht schmelzbares Glas liefert. Die Backsteine. Backsteine und Ziegel endlich werden aus dem gewöhnlichsten, meist reichlich mit kohlensaurem Kalk und anderen fremden Beimengungen gemischten Thon, dem sogenannten Lehm, geformt und je nach seiner Beschaffenheit bei stärkerer oder geringerer Hitze gebrannt. Je feiner die Thonwaare ist, um so mehr Aufmerksamkeit verwendet man auf die Vorbereitung des Materials durch Malen, Schlämmen, Beseitigung von beigemengten Steinchen u. s. w.

Schwere Metalle.

Wie bei den leichten Metallen kann man bei den sogenannten schweren mehrere Gruppen unterscheiden, deren einzelne Glieder mit den übrigen eine gewisse Aehnlichkeit behaupten. Die erste Gruppe, welche uns hier entgegen tritt, umfaßt die Metalle, Mangan, Eisen, Chrom, Uran, Nickel, Kobalt, Zink und Kadmium. Alle diese Metalle zerlegen beim Glühen Wasserdampf und bilden Oxyde. Auch zersetzen sie bei Gegenwart von verdünnter Schwefelsäure das Wasser und bringen so schwefelsaure Salze hervor.

Eisen.

Das wichtigste Metall dieser Gruppe ist jedenfalls das Eisen, da es nicht nur wegen seiner vielseitigen Verwendbarkeit als das vorzüglichste Nutz-

Digitized by Google

metall auftritt, sondern zugleich für die Lebensvorgänge der Pflanzen und Thiere und eine große Reihe von natürlichen chemischen Prozessen überhaupt von größtem Einflusse ist. Daraus geht schon hervor, daß manche Verbindungen dieses Metalls sehr verbreitet sind. Man findet einige derselben in großen Massen, dagegen ist gediegenes Eisen verhältnißmäßig eine Seltenheit und größtentheils Meteoreisen. Das Eisen des Verkehrs ist nie rein, sondern enthält immer etwas Kohlenstoff, zuweilen auch, obwohl in geringerer Menge, Silicium, Schwefel und Phosphor. Reines Eisen ist weiß, krystallinisch-körnig und hat ein spec. Gew. von 7,8. Seine große Anwendbarkeit verdankt das Metall seiner Härte, Dehnbarkeit und Zähigkeit. Letztere beiden Eigenschaften werden durch Temperaturerhöhung gesteigert, weßhalb man das Metall bekanntlich beim Bearbeiten gewöhnlich zum Glühen erhitzt. In der Weißgluth zeigt das Eisen noch eine weitere sehr wichtige Eigenschaft. Es wird nämlich schweißbar, d. h. es geht in einen klebrigen Zustand über, welcher gestattet, zwei oder mehrere Eisenstücke durch einen Druck oder Schlag zu völlig zusammenhängenden Massen zu vereinigen. Das Eisen läßt sich bekanntlich magnetisch machen. Dieß gilt besonders von kohlenstoffhaltigem Eisen, wie Stahl. Viel leichter läßt sich reines Eisen in unzusammenhängendem pulverförmigem Zustand herstellen und zwar, indem man über schwach glühendes Eisenoxyd Wasserstoffgas leitet, welches Wasser bildet, während unverbundenes Eisen als ein sehr feines schwarzes Pulver zurückbleibt. Bringt man dieses an die Luft, so entzündet es sich und verglimmt zu Eisenoxyd. Die Fähigkeit, in gewöhnlicher Temperatur an der Luft sich zu entzünden, welche wir auch bei anderen Körpern, obwohl selten, wahrnehmen, beruht hauptsächlich auf der feinen Vertheilung derselben. Wir nennen derlei Körper Pyrophore. Die Verwandtschaft des Eisens zu Sauerstoff ist sehr groß. Wir kennen drei Oxydationsstufen dieses Metalls: das Eisenoxydul FeO, Eisenoxyd Fe_2O_3 und die Eisensäure FeO_3. Zudem vereinigen sich Oxydul und Oxyd zu einer sogenannten intermediären Oxydationsstufe, dem Eisenoxyduloxyd: $Fe_3O_4 = FeO, Fe_2O_3$. Das Eisenoxydul kennen wir nur in seinen Salzen oder als Hydrat. Es zeigt nämlich eine so große Neigung, weiterhin Sauerstoff aufzunehmen, daß es sich unverändert und unverbunden nicht herstellen läßt. Es entsteht unter Wasserstoffentwicklung und gleichzeitiger Bildung der entsprechenden Salze bei Einwirkung verdünnter Sauerstoffsäuren auf Eisen. Versetzt man die Lösung eines dieser Salze mit Kalihydrat, so scheidet sich Eisenoxydulhydrat FeO, HO ab, welches sogleich, falls die Luft nicht völlig abgeschlossen ist, Sauerstoff aufnimmt und, indem es sich zunächst blaugrün färbt, in Eisenoxyduloxydhydrat, später in Eisenoxyd übergeht. Auch in den Salzen behauptet das Eisenoxydul die Fähigkeit, sich höher zu oxydiren und verwandelt sie allmälig in basische Eisenoxydsalze. Die wasserhaltigen Salze des Eisenoxyduls sind grün und liefern auch eine solche Lösung. Im wasserfreien Zustande sind sie aber weiß.

Pyrophor.

Oxydationsstufen des Eisens.

Das Eisenoxyd findet sich natürlich als Eisenglanz im wasserfreien Zustande. Durch Glühen von Eisenoxydhydrat läßt es sich künstlich erhalten, auch bleibt es bei starkem Erhitzen von salpetersaurem oder schwefelsaurem Eisenoxyd unverbunden zurück. Je nach dem Grade der Vertheilung und der bei seiner Darstellung angewendeten Temperatur ist es von dunkelbraun bis rothbraun und violett in mancherlei Abstufungen gefärbt. Läßt man Eisenoxydulhydrat an der Luft allmälig oxydiren, so erhält man das rothbraune flockige Eisenoxydhydrat: $Fe_2O_3, 3\,HO$, welches allmälig unter Wasserabgabe

Digitized by Google

selbst in gewöhnlicher Temperatur in $2Fe_2O_3, 3HO$ übergeht. Werden in Wasser gelöste Eisenoxydsalze durch Kali und andere starke Basen zersetzt, so scheidet sich ebenfalls Oxydhydrat ab, aber mit basischen Salzen gemengt. Der Eisenrost ist auch Oxydhydrat. Brauneisenstein, Bohnerz, Sumpferz bestehen der Hauptmasse nach aus Eisenoxydhydrat und bilden in ihren verschiedenen Varietäten gleich dem Eisenglanze wichtige Eisenerze. Der chemische Charakter des Eisenoxyds gleicht dem der Thonerde; es ist eine schwache Base, zeigt große Neigung, basische Salze hervorzubringen und bildet wasserhaltige, braune, im wasserfreien Zustande aber farblose Salze. Das Eisenoxyduloxyd, durch Glühen von Eisen in Wasserdampf als ein schwarzer Ueberzug des Metalles leicht zu erhalten, tritt natürlich als Magneteisenstein auf und ist als solcher ein wichtiges Eisenerz. Von der Eisensäure kennen wir kaum mehr als die Formel und das Kalisalz, welches bei heftigem Glühen von Eisenoxyd mit Salpeter entsteht und mit Wasser eine kirschrothe Lösung liefert. Weißglühendes Eisen vereinigt sich rasch und lebhaft mit Schwefel zu einfach

Schwefeleisen.

Schwefeleisen FeS, von welchem man auch Spuren in Meteorsteinen angetroffen hat. Es bildet eine dunkelgelbe krystallinische Masse von metallischem Aussehen, welche in den Laboratorien zur Entwicklung von Schwefelwasserstoff dient. Wird die Lösung eines Eisenoxydulsalzes mit Schwefelkalium oder Schwefelammonium versetzt, so entsteht durch Doppelzersetzung einfach Schwefeleisen, welche sich wasserhaltig als ein schwarzes Pulver abscheidet. Natürlich trifft man als Verbindung des Schwefels mit Eisen den Magnetkies Fe_7S_8 und das zweifach Schwefeleisen FeS_2. Letzteres in zwei Modificationen, als Schwefelkies nämlich und Strahlkies; ersterer ist viel häufiger und wird, wie erwähnt, zur Gewinnung von Schwefel benutzt (siehe Seite 468), ebenso zur Darstellung von schwefelsaurem Eisenoxydul, indem beim Rösten des Kieses an der Luft dieser durch Sauerstoffaufnahme unter Entwicklung von schwefliger Säure in das genannte Salz übergeht. Beim Strahlkies findet diese Oxydation schon in gewöhnlicher Temperatur statt, so daß von diesem Mineral durchdrungene Erze nach einigem Lagern an der feuchten Luft reichlich Eisenvitriol enthalten. Kommt luftführendes Wasser mit dem Strahlkies zusammen,

Chloreisen.

so tritt es als eisenvitriolführendes Grubenwasser zu Tage. Läßt man gasförmige Chlorwasserstoffsäure über glühendes Eisen streichen, so überzieht sich das Metall unter gleichzeitiger Entwicklung von Wasserstoff mit weißem lockerem Eisenchlorür FeCl, welches mit Wasser eine grüne Lösung bildet und aus dieser in grünen wasserhaltigen Krystallen sich abscheidet. Die direkte Vereinigung von Chlor mit erwärmtem Eisen führt zur Bildung des Eisenchlorids, einer grün schillernden, schuppig krystallinischen flüchtigen Masse, die sich leicht im Wasser zu einer lichtbraunen Flüssigkeit löst.

Kohlensaures Eisenoxydul.

Eisenvitriol.

Von den Eisenoxydulsalzen ist das natürlich als Spatheisenstein vorkommende kohlensaure Eisenoxydul von Bedeutung, da es ein sehr wichtiges Eisenerz vorstellt. Das schwefelsaure Eisenoxydul, der Eisenvitriol, kömmt hie und da natürlich vor. Ueber seine Entstehung bei Einwirkung von Schwefelsäure auf Eisen, sowie durch Oxydation des Schwefelkieses, haben wir schon oben berichtet. Das Salz löst sich im Wasser ziemlich leicht, krystallisirt daraus in bläulich grünen Krystallen, welche 7 Atome Krystallisationswasser enthalten, läßt sich übrigens auch mit anderem Wassergehalte herstellen und findet eine sehr vielseitige technische Verwendung in der Färberei, zum Conserviren des Holzes, bei Reinigen des Leuchtgases, Desinficiren von Aborten und wird deßhalb im Großen durch Rösten oder Verwittern des

Digitized by Google

Schwefelkieſes und Auslaugen des Produktes, ſowie ſchließlich Eindampfen und Kryſtalliſirenlaſſen der ſo erhaltenen Löſung gewonnen. So umfaſſend die Benutzung mancher Eiſenverbindungen auch ſein mag, ſo läßt ſie ſich doch in keiner Weiſe mit der Verwendung des unverbundenen Metalles vergleichen, deſſen Produktion als Maßſtab des Culturzuſtandes und Reichthums der Staaten auch hier eine eingehendere Beſprechung zu verdienen ſcheint.

Gewinnung des Eiſens.

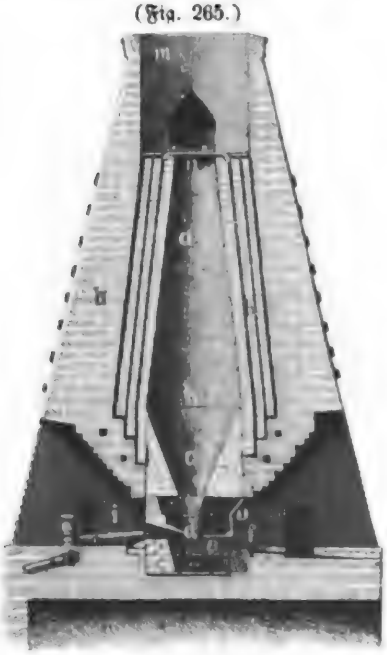
Man gewinnt das Eiſen aus ſeinen Erzen nicht unmittelbar als Schmiedeeiſen, ſondern in Geſtalt eines kohlenſtoffreichen und ſonſt ziemlich verunreinigten Produktes, welches als Roheiſen erſt weiter zu Schmiede- oder Stabeiſen verarbeitet werden muß oder als Gußeiſen unmittelbar zur Herſtellung von Eiſenguß dient. Als Erze kann man nur die in größeren Maſſen auftretenden oxyd- oder oxydulhaltigen Mineralien betrachten. Das Schwefeleiſen, obwohl an manchen Stellen ungemein reichlich vorkommend, eignet ſich zur Eiſengewinnung durchaus nicht und ſeine Anweſenheit in oxydreichen Erzen macht dieſe untauglich, da ein namhafter Schwefelgehalt des Produktes, wie er dann nicht zu vermeiden iſt, das gewonnene Eiſen mit Eigenſchaften ausſtattet, welche ſeine Verwendung nicht zulaſſen. Als Eiſenerze dienen Eiſenglanz, Brauneiſenſtein, Magneteiſenſtein und Spatheiſenſtein in ihren verſchiedenen Varietäten. Um die Ausbringung des Eiſens zu erleichtern, werden die Erze zunächſt in kleinere Stücke zerſchlagen und dann entweder in Haufen oder paſſenden Oefen mit Brennſtoff geſchichtet, erhitzt, oder wie man hier ſagt, geröſtet, womit hauptſächlich eine Auflockerung der Erze bezweckt iſt, um bei der folgenden Reduktion die Gaſe leicht in das Innere der Maſſe dringen zu laſſen.

Eiſenerze.

Der Ofen, worin das Schmelzen des Roheiſens vorgenommen wird, heißt **Hohofen**. Es iſt ein Schachtofen von ſehr großen Dimenſionen, deſſen weſentlichſte Theile aus Fig. 265 erſichtlich ſind. Beim Schacht des Ofens laſſen ſich mehrere Haupttheile unterſcheiden: der nach unten ſich erweiternde Kernſchacht a geht an ſeiner Baſis b in die ſich verjüngende Raſt c über, an welche ſich das Geſtell d ſchließt. Letzteres erweitert ſich unten zu dem Heerd e, welcher die flüſſigen Schmelzprodukte aufnimmt. Der Heerd iſt vorne durch den Wallſtein f abgeſchloſſen. Zwiſchen dem Wallſtein und der Ofenwand läßt man einen Raum frei, welcher, während des Schmelzens mit Thon verſchloſſen, dazu dient, die Schmelzprodukte von Zeit zu Zeit aus dem Heerde abfließen zu laſſen. Um nöthigenfalls mit paſſenden Geräthen in den Heerd reichen, und dort ſchwerflüſſige Maſſen, die ſich bei unregelmäßigem Ofengange bilden, herausſchaffen zu können, läßt man die Bruſt des Ofens, d. h. die Vorderwand deſſelben, offen. Der Stein o, welcher den Zwiſchenraum nebſt dem Wallſtein begrenzt, heißt Tümpelſtein. In der Höhe deſſelben liegen auch die Düſen des Gebläſes i. Man findet je nach der Größe des

Hohofen.

(Fig. 265.)



Ofens 1—5 solcher Düsen eingelegt. Da im Gestelle die Verbrennung vor sich geht, und dort eine mächtige Hitze herrscht, so muß dieser Theil des Ofens aus besonders feuerfestem Material construirt sein. Auch die Wände des Kernschachtes und der Rast sind mit feuerfesten Backsteinen h ausgekleidet, während das als Stütze dienende Mauerwerk k (die Rauhmauer) mit geringerer Sorgfalt hergestellt wird. Die Gichtöffnung n, bei welcher die Verbrennungsgase austreten, und andererseits Brennstoff und Erz eingetragen werden, ist gewöhnlich von einem essenartigen Gemäuer m, dem Gichtmantel, umgeben. Das ganze Gebäude wird durch eisernen Spangen und Stützen befestigt.

Betrieb des Hohofens.

Soll der Hohofen in Thätigkeit gesetzt werden, so füllt man ihn allmälig bis zur Gicht mit Brennstoff und läßt hierauf das Gebläse an, während man Erze und Brennstoff in dem Maße, als diese herabsinken, regelmäßig aufgibt. Es ist klar, daß bei diesem Niederschmelzen der Eisenerze zunächst eine Reduction der darin vorhandenen Eisenoxyde bezweckt wird. Diese allein genügt aber nicht, sondern es muß das Produkt auch flüssig werden, was reines Eisen, selbst in der hohen Temperatur des Hohofens, nicht ist. Da aber die Verhältnisse im Ofen darauf hinwirken, daß das Eisen mehrere Procente Kohlenstoff aufnimmt und so in leichter schmelzbares Kohlenstoffeisen übergeht, so kann dieses endlich sich im flüssigen Zustande über dem Boden des Heerdes ansammeln und dort sammt der gleichzeitig entstehenden Schlacke von Zeit zu Zeit abgestochen werden. Die Schlacke verdankt ihren Ursprung den den Erzen natürlich oder künstlich beigemengten Silikaten und ist keineswegs eine lästige Beigabe, sondern für das Gelingen des Prozesses unerläßlich, denn sie muß, gleichzeitig mit dem Roheisen schmelzend, dieses beim Herabsinken vor der Form des Gebläses gegen den oxydirenden Einfluß des Windes schützen; ebenso beim Verweilen des Eisens im Heerde, wo die Schlacke das Metall bedeckt. Gestatten die natürlichen Beimengungen nicht die Bildung einer Schlacke von richtiger Beschaffenheit, d. h. die nicht zu leicht oder zu schwer schmelzbar ist, so muß man natürliche Silikate zusetzen, welche mit den schon vorhandenen die richtige Beschaffenheit annehmen, und nennt diese dann Zuschläge. Die Schlacken sind gewöhnlich Gemenge von zweidrittel und einfach kieselsaurem Kalk, Thonerde und Manganoxydul. Als Brennstoff dienen Holzkohlen, Kohks, Steinkohlen, zuweilen verwendet man auch Torf. Der Brennstoff, sobald er in die Nähe der Form gelangt, wird von der einströmenden Luft verzehrt und liefert, da ein Ueberschuß von weißglühender Kohle vorhanden ist, bloß Kohlenoxyd. Dieses steigt mit dem Stickstoff und aus der Zerlegung des der Luft beigemengten Wasserdampfs hervorgegangenen Wasserstoff aufwärts, wobei aus dem Kaligehalte des Brennstoffs auch gleichzeitig etwas Cyankalium hervorgeht; eine mächtig reducirende und kohlende Verbindung von Stickstoff, Kohlenstoff und Kalium (siehe unten). Die Erze bewegen sich mit neuen Quantitäten Brennstoff den aufsteigenden Gasen entgegen nach abwärts; in dem oberen Theile des Schachtes werden sie bloß vollständig getrocknet und falls unverkohlter Brennstoff angewendet wurde, dieser verkohlt. Die reichlich aufströmenden reducirenden Gase Kohlenoxyd und Wasserstoff, treffen in dem tiefer gelegenen Theile des Kernschachtes die Oxyde des Eisens hinreichend erhitzt, um unter gleichzeitiger Bildung von Kohlensäure und Wasser fein vertheiltes metallisches Eisen daraus abzuscheiden. In der Rast angelangt, sind die Erze bereits dem heißen Schmelzraume des Gestelles so nahe gerückt, daß die Bildung von Kohlenstoffeisen

Digitized by Google

eintreten muß, wobei das Kohlenoxyd, unter Abgabe von Kohlenstoff, in Kohlensäure übergeht, das Cyankalium ebenfalls kohlend wirkt und auch die direkte Berührung mit der glühenden Kohle zur Bildung von Kohlenstoffeisen beiträgt. Endlich muß bei weiterem Herabsinken das Schmelzen eintreten, während die begleitenden Brennstoffe, durch die Gebläseluft verzehrt, die zum Prozeß nöthige Hitze und Verbrennungsgase für die folgenden Erzschichten bieten. Es ist natürlich, daß die mächtige Reduction im Hohofen sich nicht allein auf das Eisenoxyd beschränkt, sondern auch andere Stoffe ihren Sauerstoff abgeben, so namentlich Schwefelsäure, Phosphorsäure und Kieselsäure, deren Radikale sich dem Kohlenstoffeisen in schwankenden Mengen beigesellen und dessen Eigenschaften modificiren.

Roheisen.

Man unterscheidet zwei Hauptsorten von **Roheisen**, das weiße und das graue. Im weißen bleibt der Kohlenstoff auch nach dem Erkalten des Eisens vollständig chemisch gebunden darin, während sich im grauen beim Abkühlen ein Theil des Kohlenstoffs in Gestalt von feinen Schüppchen, die genau mit dem Graphit übereinstimmen, abscheidet. Das graue Roheisen entsteht in verhältnißmäßig höherer Temperatur als das weiße und enthält deßhalb auch in der Regel mehr von den genannten Verunreinigungen. Die Quantität des Kohlenstoffs ist keineswegs als Ursache des Unterschiedes zwischen dem grauen und weißen Roheisen anzusehen, indem beide Sorten häufig einen ganz gleichen Kohlenstoffgehalt ausweisen. Der Grund der theilweisen Abscheidung des Kohlenstoffs in grauem Eisen scheint in dem reichlicheren Siliciumgehalte desselben zu liegen. Weißes Roheisen ist im geschmolzenen Zustande ziemlich breiig und zieht sich beim Erkalten unregelmäßig zusammen. Auch ist es sehr hart und taugt aus diesen Gründen zur Herstellung von Gußstücken nicht, wozu hingegen das graue Roheisen geeignet ist, da es dünnflüssig erscheint, die Formen beim Guß vollständig ausfüllt und viel weicher ist, somit sich leicht noch weiter bearbeiten läßt.

Das Frischen des Eisens.

Um aus dem Roheisen Schmiedeeisen herzustellen, welches möglichst frei von Silicium, Phosphor und Schwefel sein muß und höchstens $^1/_2$ % Kohlenstoff enthalten darf, während Roheisen bis zu 5 % davon enthält, unterwirft man das Eisen einem oxydirenden Schmelzprozesse, welche Operation das **Frischen** des Eisens heißt. Tritt zu schmelzendem Roheisen hinreichend Luft, so beginnt nach einigen Richtungen ein Oxydationsprozeß. Der Kohlenstoff verbrennt zu Kohlensäure, Schwefel zu schwefliger Säure, Silicium zu Kieselsäure, endlich aber auch Eisen zu Eisenoxyduloxyd. Dieses vereinigt sich mit der entstandenen Kieselsäure zu einem basischen sehr schmelzbaren Silikat, welches, falls die Oxydation schon einige Zeit angedauert, endlich so reich an Eisenoxyduloxyd wird, daß es ebenfalls auf den Kohlenstoff und die übrigen Beimengungen des Eisens oxydirend wirkt, indem Sauerstoff abgegeben und metallisches Eisen hergestellt wird. So vereinigen sich Luft und Eisenoxyde, um dem übrigen Theile des Roheisens die fremden Beimengungen, theils in Gasform, theils der erwähnten Schlacke beigemischt, zu entziehen. Das Metall wird immer zähflüssiger und schwerschmelzbarer und erstarrt endlich zu unschmelzbarem Schmiedeeisen, dem man unter Hämmern oder Walzen dann die nöthige Form gibt.

Das Heerdfrischen.

Diese Vorgänge werden beim Heerdfrischen in einem mit starken Eisenplatten ausgekleideten Heerde durchgeführt, indem man diesen mit glühenden Holzkohlen füllt, dann das Gebläse anläßt, welches das niederschmelzende Eisen, das auf die Kohlen gelegt wurde, oxydirend trifft und so entweder nach einem einmaligen Herabschmelzen, oder nachdem dieses wiederholt

Digitized by Google

Puddlingsprozeß.

worden, unter Mitwirkung der erwähnten Schlacke endlich die Entkohlung vollendet. Beim sogenannten Puddeln schmilzt man das Roheisen auf dem Heerde eines Flammenofens, der gewöhnlich mit Steinkohlen beheizt wird. Die im Ueberschusse eindringende Luft veranlaßt auch hier ganz analoge Vorgänge, welche mit der Bildung von Stabeisen endigen.

Stahl.

Die dritte wichtige Form, in welcher Eisen zur Verwendung kommt, ist der Stahl. Hinsichtlich seiner Zusammensetzung unterscheidet er sich von Stabeisen durch einen Mehrgehalt, von Roheisen durch einen Mindergehalt an Kohlenstoff, dessen Menge im Stahl 1 — 2 % beträgt und vollständig an Eisen gebunden sich darin findet. Er schmilzt weit leichter als Schmiedeeisen, aber schwieriger als Roheisen. Mit ersterem theilt er auch die Eigenschaft, sich schmieden und schweißen zu lassen, und der Stahl kann daher sowohl durch Guß als Hämmern und Walzen in die verschiedensten Formen gebracht werden, was seine Anwendbarkeit in hohem Grade vervielfältigt. Die große Bedeutung des Stahls für die Herstellung zahlreicher Geräthe ist aber vor allem in dem Umstande begründet, daß man derselben Sorte nach Willkür einen verschiedenen Grad von Härte zu ertheilen vermag. Wird nämlich der Stahl bis zum starken Glühen erhitzt und hierauf durch rasches Einsenken in kaltes Wasser oder Quecksilber schnell abgekühlt, so wird er außerordentlich hart und zugleich spröde. Erhitzt man ihn aber neuerdings und läßt ihn dann langsam erkalten, so büßt er von seiner Härte um so mehr ein, je höher die Temperatur war, welcher man ihn zum zweitenmale ausgesetzt hatte. Dadurch läßt sich die Beschaffenheit des Stahls mannigfach modificiren, und es ist klar, daß gerade diese Eigenschaft ihm eine von allen übrigen Metallen und Legirungen unübertroffene Verwendbarkeit bei Anfertigung von schneidenden Instrumenten und dergl. sichert, bei welchen es nicht nur auf Härte des Materials, sondern auch auf den für die speciellen Zwecke gerade passenden Grad derselben ankommt. Man nennt diese durch neuerliches Erwärmen des glasharten Stahls herbeigeführte Abänderung seiner Härte das Anlassen desselben.

Die erwähnten Eigenschaften des Stahls erleiden, je nach der bei seiner Erzeugung befolgten Methode und der Reinheit des dabei verwendeten Materials, sehr mannigfaltige Modificationen, die sich hauptsächlich auf seine Härte, Elasticität und Schweißbarkeit beziehen. Es ist namentlich letztere, welche bei manchen Stahlsorten ganz vorzüglich erscheint, bei anderen aber fast gänzlich verschwindet. Die Methoden, nach welchen man Stahl bereitet, sind ziemlich zahlreich und führen keineswegs, in Hinsicht auf die Qualität des Produktes, zu ganz gleichen Resultaten. Nach dem ältesten und auch gegenwärtig noch sehr häufig angewendeten Verfahren entzieht man dem Roheisen durch das Frischen im Heerde so viel Kohlenstoff, daß nur die zur Bildung des Stahls nöthige Menge darin unoxydirt zurückbleibt. Das hierzu verwendete Roheisen muß besonders rein sein, indem die Beseitigung des Siliciums, Schwefels, Phosphors u. s. w. bei der Herstellung des Schmelzstahls, wie das in solcher Weise gewonnene Produkt heißt, schon nahezu vollendet sein muß, wenn sich noch eine entsprechende Menge Kohlenstoff unverbrannt im Eisen vorfindet.

Schmelzstahl.

Cementstahl.

Da die Verwandtschaft des Kohlenstoffs zum Eisen sehr groß ist, so kann man dem fertigen Stabeisen wieder die zur Stahlbildung nöthige Kohlenstoffmenge zuführen. Dies geschieht bei der Fabrikation des Cementstahls, zu welchem sich besonders gewisse harte Sorten Stabeisen aus Schweden,

Digitized by Google

Rußland und Steiermark eignen. Das in flache Schienen ausgehämmerte Eisen wird zwischen Holzkohlenpulver in großen, aus feuerfestem Thon angefertigten Kästen, deren je zwei in passenden Oefen eingesetzt sind, durch 10—14 Tage lebhaft geglüht. Die mit dem Kohlenpulver in den Kästen eingeschlossene Luft bedingt die Bildung von Kohlenoxyd, dessen kohlende Wirkung auf Eisen wir schon oben kennen gelernt haben, und welches dabei, in Kohlensäure übergehend, in Berührung mit dem glühenden Kohlenstoff, wieder zu Kohlenoxyd wird, und in dieser Weise den nicht flüchtigen, unschmelzbaren Kohlenstoff auf das Eisen überträgt. Die Kohlung des Eisens kann unter den erwähnten Umständen bis zur Bildung von Roheisen vorschreiten, wenn man sie nicht rechtzeitig unterbricht.

Puddelstahl.

Während man früher es für unmöglich hielt, den zur Stabeisenerzeugung in Flammenöfen gebräuchlichen Puddlingsprozeß auch auf die Stahlfabrikation anzuwenden, wurden in neuerer Zeit an manchen Orten mit dem besten Erfolg die Erzeugung von Puddelstahl versucht und in Betrieb gesetzt. Derselbe kommt zwar den besseren Sorten Schmelz- und Cementstahl nicht gleich, ist aber billiger und für viele Zwecke ganz gut brauchbar.

Rohstahl.

Mag nun der Stahl in einer oder der anderen Weise erzeugt worden sein, so bildet er zunächst keineswegs ein völlig gleichförmiges Produkt. Während an einigen Stellen der Kohlenstoffgehalt sich jenem des Roheisens nähert, sinkt er an anderen unter die für Stahl nöthige Quantität, und die unvermeidlichen geringen Verunreinigungen sind in der Masse auch nicht völlig gleich vertheilt. Es ist daher in allen Fällen nöthig, dem Rohstahl, mit welchem Namen man das ursprüngliche Produkt der Erzeugung bezeichnet, durch eine weitere Bearbeitung die erforderliche Gleichförmigkeit seiner Masse zu ertheilen. Der Rohstahl hat immer eine mehr oder weniger deutliche großblättrig-krystallinische Struktur, während der raffinirte Stahl eine ausgezeichnet gleichförmige feinkörnige Bruchfläche von geringem Metallglanz zeigt.

Gerbestahl.

Um Rohstahl zu raffiniren, schweißt man häufig denselben wiederholt zusammen und schmiedet ihn nachher wieder aus. Dieses Verfahren heißt das Gerben des Stahls und der in solcher Weise raffinirte Stahl Gerbestahl.

Gußstahl.

In noch weit vollkommener Weise wird eine Gleichförmigkeit des Stahls erzielt, wenn man ihn zum Schmelzen bringt. Der dadurch erzeugte Gußstahl gewinnt immer mehr an Bedeutung, da man gelernt hat, ihn nicht nur von vorzüglicher Qualität zu erzeugen, sondern auch große Massen desselben auf einmal zum Guß von Gegenständen, welche namhafte Dimensionen besitzen, wie Glocken, Geschütze und dergl., zu verwenden. Zur Herstellung von Gußstahl eignet sich besonders gut der Cementstahl, doch kann auch jeder andere Stahl hierzu benützt werden. Um kleinere Gegenstände zu gießen, schmilzt man zu 70—80 Pfund Rohstahl in Graphittiegeln, welche in mit Kohks beheizten Windöfen eingesetzt sind. Aehnliche Schmelzgeräthe von größeren Dimensionen, welche in nach Art der Glasöfen eingerichteten Oefen bis zu dem erforderlichen Grad erhitzt werden, dienen dort, wo es sich um die Herstellung großer Gußwaaren handelt. Es ist in neuerer Zeit gelungen, verschiedene Gegenstände (insbesondere Eisenbahnartikel) unmittelbar durch den Guß zu formen, und somit das Ausschmieden und überhaupt jede Bearbeitung des Stahls zu umgehen. Manche Geräthe, welche man früher durch Zusammenschweißen von Eisen mit Stahl herstellte, können durch Vermittlung des Gußstahls in viel einfacherer Weise erzeugt werden, indem man das glühende weiche Eisen in die entsprechenden Formen senkt,

Digitized by Google

diese dann mit Gußstahl ausfüllt und die nun völlig zusammenhängende Masse durch Schmieden oder Walzen weiter bearbeitet. Dem größten Theil des Gußstahls gibt man jedoch durch Ausgießen in eiserne Formen die Gestalt von Barren, welche dann in den Verkehr gebracht und zur Anfertigung kleinerer Gegenstände, mittelst Ausschmieden und Schweißen, verwendet werden. Wie bei allen Stahlsorten, beobachtet man auch beim Gußstahl verschiedenen Ursprungs vielerlei Modifikationen seiner Beschaffenheit. Im allgemeinen läßt sich der Gußstahl leichter schweißen und ist weit gleichförmiger in seiner Masse, als der Schmelz- und Puddelstahl.

Nach einer dem Prinzipe nach nicht neuen, aber in der Durchführung endlich völlig gelungenen Methode, hat Uchatius in den letzten Jahren einen Gußstahl mittlerer Sorte auf einem Wege herzustellen gelehrt, welcher billiger ist als alle bisher berührten. Das Wesentliche seines Verfahrens besteht darin, daß er reines Roheisen durch Eingießen in kaltes Wasser in Gestalt von kleinen Körnern bringt, diese mit der entsprechenden Menge reinem Eisenerz, wie Spath- oder Magneteisenstein, innig mischt und in Graphittiegeln zusammenschmilzt. Das Erz wirkt in der oben erörterten Weise entkohlend auf das Roheisen und gibt an letzteres zugleich seinen Eisengehalt ab. Es ist klar, daß nach dieser Methode der Kohlenstoffgehalt des Stahls, als das wesentliche Moment für die Beschaffenheit desselben, mit größerer Sicherheit geregelt werden kann, als nach den anderen gebräuchlichen Verfahrungsweisen. Die größte Menge von Gußstahl produciren England und Frankreich.

Das Mangan.

Viele Aehnlichkeit mit Eisen bietet das Mangan, der stete Begleiter des Eisens, dar. Es findet sich nicht gediegen und hat auch im metallischen Zustand wenig Bedeutung, da eine Verwendung desselben bis jetzt nicht versucht wurde. Durch heftiges Glühen irgend eines Oxyds des Mangans mit Kohle läßt es sich abscheiden. Es erscheint sehr strengflüssig, grauweiß, fein krystallinisch, weich und spröde, hat ein spec. Gew. von 8,01, einen schwachen Metallglanz und oxidirt sich ungemein leicht.

Die bekannten Oxydationsstufen des Mangans sind: das Manganoxydul MnO, das Manganoxyduloxyd Mn_3O_4, das Manganoxyd Mn_2O_3, das Mangansuperoxyd MnO_2, die Mangansäure MnO_3 und die Uebermangansäure Mn_2O_7.

Das Manganoxydul entspricht in seinem chemischen Verhalten dem Eisenoxydul, mit welchem es auch in allen seinen Salzen isomorph ist. Die Sauerstoffsalze und entsprechenden Haloidverbindungen sind rosenroth. Das Oxyduloxyd ist ein braunes Pulver und findet sich auch natürlich als Hausmannit. Beim Manganoxyd, welches wasserfrei als Braunit, als Hydrat im Manganit vorkömmt, ist kaum mehr der Charakter einer Base wahrzunehmen; es nähert sich den Superoxyden, da es mit Säuren zusammengebracht in der Regel Sauerstoff abgibt und zu Oxydul wird. Die wichtigste Sauerstoffverbindung ist das Mangansuperoxyd, welches als Braunstein natürlich vorkommend vielfältige Verwendung findet. Erwärmt man Manganoxyd mit Salpetersäure, so löst sich salpetersaures Manganoxydul auf und das Superoxyd bleibt als ein schwarzes Pulver zurück: $Mn_2O_3 + NO_3 = MnO, NO_5 + MnO_2$. Wird Manganoxyd oder Superoxyd mit Salpeter zusammen geschmolzen, so erhält man mangansaures Kali, welches eine

Braunstein.

Digitized by Google

grüne Lösung liefert. Die Mangansäure läßt sich nicht isoliren; denn setzt man dem Salze eine stärkere Säure zu, so zerlegt sich erstere sogleich in Mangansuperoxyd und Uebermangansäure: $3MnO_3 = Mn_2O_7 + MnO_2$. Die Uebermangansäure ist violettroth und liefert ebenso gefärbte Salze. Mit den Haloiden bildet das Mangan bloß dem Oxydul entsprechende Verbindungen. Wird ein Manganoxydulsalz mit Schwefelkalium gemischt, so scheidet sich einfach Schwefelmangan, MnS, wasserhaltig als ein fleischrother Niederschlag ab, der beim völligen Austrocknen ein grünes Pulver liefert.

Das Chrom.

Dem Mangan und Eisen schließt sich das Chrom an, welches nur spärlich auftritt, in größter Menge noch als Chromeisenstein, einer Verbindung von Chromoxyd mit Eisenoxydul. Das Metall bietet als solches wenig Bemerkenswerthes dar. Von seinen Sauerstoffverbindungen entspricht das Chromoxydul, CrO, in vielen Beziehungen dem Eisenoxydul, ist aber noch sehr wenig gekannt. Vom Chromoxyd, Cr_2O_3, welches mit Eisenoxyd isomorph ist, kennt man mehrere Modifikationen. Im wasserfreien Zustande ist es lebhaft grün und dient zum Färben von Glasflüssen. Seine Salze lassen sich in eine Reihe von grünen und in eine Reihe von violettblauen abtheilen. Von letzteren sind einige krystallisirbar, die grünen sehr schwierig oder gar nicht. Die der Mangan- und Eisensäure entsprechende Chromsäure, CrO_3, ist viel constanter als die beiden vorhergehenden; sie findet sich natürlich in Verbindung mit Bleioxyd. Versetzt man eine warme gesättigte Lösung von saurem chromsaurem Kali mit überschüssiger concentrirter Schwefelsäure, so scheidet sich wasserfreie Chromsäure in Gestalt eines hellrothen Breies von Krystallen ab, die im Wasser leicht löslich sind, mächtig oxydirend auf viele Stoffe wirken, sich mit Wasser nicht verbinden und beim Erhitzen unter Abgabe von Sauerstoff in Chromoxyd übergehen. Die Salze der Chromsäure sind mit denen der Schwefel- und Selensäure isomorph, und gelb, roth oder braunroth gefärbt. Das saure Kalisalz bildet einen Handelsartikel. Man erzeugt es durch Schmelzen von Chromeisenstein mit Salpeter, wobei sich zunächst neutrales Salz bildet, welches auf Zusatz der entsprechenden Menge Salpetersäure in das saure Salz übergeht, das beim Verdampfen der Flüssigkeit große hellrothe Krystalle des zweifachsauren Salzes liefert, die wasserfrei sind. Das neutrale chromsaure Kali ist hell citronengelb. Man bedient sich dieser Salze hauptsächlich, um durch Doppelzersetzung andere chromsaure Verbindungen zu erzeugen, die als Farbmaterialien dienen, namentlich das Bleisalz, welches hellgelb ist und als Chromgelb verwendet wird.

Chromsäure.

Kobalt und Nickel.

Kobalt und Nickel zeigen ebenfalls viele Aehnlichkeit mit Eisen. Sie sind bei ihrem Vorkommen unzertrennliche Gefährten und die Scheidung von einander ist ziemlich umständlich. Nickel findet sich gediegen im Meteoreisen, sonst treten diese beiden Metalle hauptsächlich als Schwefel- und Arsenverbindungen auf. Das Nickel wird metallisch verwendet zur Herstellung des Packfongs, einer Legirung von Kupfer, Nickel und Zink. Von metallischem Kobalt wird kein Gebrauch gemacht. Die Sauerstoffverbindungen beider Metalle correspondiren mit dem Eisenoxydul und Eisenoxyd. Kobalt- und Nickeloxydul sind mit Eisenoxydul isomorph. Die Salze des Nickeloxyduls sind im wasserhaltigen Zustande grün, wasserfrei gelb. Kobaltoxydul

Digitized by Google

liefert wasserhaltige rothe und wasserfreie blaue Salze. Die Hydrate der beiden Verbindungen sind entsprechend, d. h. grün und roth gefärbt. Die beiden Oxyde, Ni_2O_3 und Co_2O_3, haben den Charakter von Superoxyden. Daß das Kobaltoxydul Glas blau färbt und dießfalls vielseitig benutzt wird, wurde bereits erwähnt.

Zink.

Zink trifft man als Oxyd und Schwefelmetall. Es ist nicht sehr verbreitet. Das reine Zink ist weich, in gewöhnlicher Temperatur spröde, zwischen 110—150° aber dehnbar, schmilzt in der Glühhitze und verflüchtigt sich beim Weißglühen. Es hat eine weiße Farbe, ein spec. Gew. von 7, einen großblättrigen krystallinischen Bruch und wurde auch in deutlicheren Krystallen des drei- und einaxigen Systems erhalten. An der Luft erhitzt verbrennt es zu Zinkoxyd, ZnO. Dieses ist in gewöhnlicher Temperatur weiß, beim Erhitzen färbt es sich aber gelb. Aus Zinkoxydsalzen scheidet Kalihydrat Zinkoxydhydrat ab, welches ebenfalls ein weißer pulverförmiger Körper ist. Er löst sich, so wie das wasserfreie Oxyd, in Kali- und Natronlauge reichlich auf. Das Zinkoxyd zeigt in seinen Salzen die größte Aehnlichkeit mit Bittererde und ist mit dieser auch isomorph. Eine andere Oxydationsstufe des Zinks ist nicht bekannt. Alle übrigen Verbindungen dieses Metalles entsprechen in ihrer Zusammensetzung dem Oxyd. Das Schwefelzink, natürlich als Zinkblende vorkommend, läßt sich künstlich wie Schwefeleisen erzeugen und ist weiß. Schwefelsaures Zinkoxyd, der Zinkvitriol, ZnO, SO_3, entsteht bekanntlich bei Einwirkung von verdünnter Schwefelsäure auf das Metall und wird im Großen durch Rösten von Zinkblende und Auslaugen u. s. w. in ähnlicher Weise gewonnen, wie der Eisenvitriol aus dem Schwefeleisen. Er kristallisirt aus Wasser in farblosen Prismen mit 7 Atomen Krystallisationswasser und findet manche technische Verwendung. Das Zink gehört unter die bedeutendsten Nutzmetalle und wird aus Galmey, d. i. basisch kohlensaures Zinkoxyd, Rothzinkerz (Zinkoxyd) oder Zinkblende, die zuvor geröstet und so theilweise in Zinkoxyd umgewandelt wurde, durch Weißglühen mit Kohle, welche das Oxyd reducirt, gewonnen, wobei sich aber das Metall dampfförmig verflüchtigt, weshalb die Operation in Retorten oder Röhren aus feuerfestem Thon durchgeführt wird. Das in den Vorlagen sich als unregelmäßige Massen ansammelnde Tropfzink wird in Flammenöfen umgeschmolzen und in Formen von Eisen gegossen.

Zinkgewinnung.

Kadmium.

In Schlesien, wo überhaupt reichlich Zink aus Galmey gewonnen wird, enthält letzterer auch Kadmiumoxyd, welches gleich dem Zinkoxyd reducirt, Kadmiumdämpfe liefert, die, flüchtiger als das Zink selbst, sich zunächst reichlich verdichten, so daß die ersten Antheile des Destillates viel Kadmium enthalten. Aus diesem Materiale stellt man das reine Metall her, welches dehnbar und weich, leicht schmelzbar ist und ein spec. Gew. von 8,7 hat. Das Kadmium zeigt manche Aehnlichkeit mit Zink, sein wasserfreies Oxyd, CdO, ist rothbraun und dessen Hydrat farblos.

Zinn.

Den Uebergang von der eben besprochenen Gruppe der schweren Metalle zu denen der säure-bildenden vermittelt das Zinn, welches sich hauptsächlich als Zinnoxyd im Zinnsteine vorfindet. Aus letzterem wird das Metall durch ein reducirendes Schmelzen gewonnen, welches in seinen Einzel-

Digitized by Google

heiten nichts Bemerkenswerthes darbietet. Reines Zinn ist weich, dehnbar, hat eine bläulich weiße Farbe, starken Glanz, ein spec. Gew. von 7,3, schmilzt bei 228° und verflüchtigt sich in der Weißgluth. Mit Sauerstoff vereinigt sich das Metall in drei Verhältnissen zu Zinnoxydul SnO, Zinnsesquioxydul Sn_2O_3 und Zinnoxyd SnO_2. Das Oxydul läßt sich aus denselben Gründen wie Eisenoxydul schwierig völlig rein darstellen. Im wasserfreien Zustande ist es olivengrün, als Hydrat weiß. Seine Salze sind farblos und oxydiren sich an der Luft. Das Zinnoxyd kann füglich auch Zinnsäure genannt werden, da es zu den Basen größere Verwandtschaft als zu den Säuren zeigt. Man kennt es in zwei Modificationen, deren eine die sogenannte Metazinnsäure, welche bei Einwirkung von Salpetersäure auf Zinn entsteht, sich nur schwierig mit Säuren verbindet, während die durch Zersetzung von Zinnchlorid, $SnCl_2$, mittelst Kali erhaltene gewöhnliche Zinnsäure leichter Salze bildet. Die Verbindungen beider Zinnsäuren mit Basen sind verschieden. Behandelt man metallisches Zinn mit Salzsäure, so entsteht unter Entwicklung von Wasserstoff Zinnchlorür, SnCl, ein im Wasser lösliches, daraus mit 2 Atomen Krystallisationswasser sich abscheidendes Salz, welches unter dem Namen Zinnsalz in der Färberei verwendet wird und deßhalb auch Gegenstand der Darstellung im Großen ist. Mit Chlorgas vereinigt sich Zinn direkt zu Zinnchlorid, $SnCl_2$, einer farblosen Flüssigkeit, die bei 120° siedet und an der Luft dicke Nebel verbreitet. Die wässerige Lösung des Zinnchlorids läßt sich durch Behandlung des Metalls mit Königswasser herstellen und dient als sogenannte Zinncomposition ebenfalls in der Färberei.

Antimon.

Von den vorzugsweise Säuren bildenden Metallen Titan, Vanadin, Molybdän, Tantal, Niobium und Antimon ist Letzteres das wichtigste. Es schließt sich in seinem chemischen Charakter nach den meisten Richtungen dem Arsenik an. Es tritt gleich diesem gediegen, vorzüglich aber als Schwefelantimon nicht nur für sich, sondern auch mit Schwefelmetallen verbunden auf. Man gewinnt es aus dem natürlichen Schwefelantimon, dem Grauspießglanzerz, in der Regel durch Schmelzen mit Eisen, welches, größere Verwandtschaft zum Schwefel äußernd, diesem Antimon entzieht und das Metall abscheidet, welches dann ziemlich umständlich erst von dem anhängenden Eisen und anderen Verunreinigungen befreit werden muß. Das Metall ist sehr spröde und weich, zinnweiß, wenig flüchtig, schmilzt leicht, hat ein spec. Gew. von 6,72 und krystallisirt in Rhomboëdern. In der Glühhitze verbrennt es an der Luft zu Antimonoxyd, SbO_3, welches aber leicht sich weiter zu antimoniger Säure, SbO_3, oxydirt. Das Antimonoxyd findet sich natürlich als Weißspießglanzerz; es ist schmelzbar, farblos, in heftiger Glühhitze flüchtig, liefert mit den Säuren schwer krystallisirbare basische Salze, welche, wie alle löslichen Verbindungen des Antimons, giftig sind. Durch mächtige Oxydationsmittel werden Antimon wie Oxyd in Antimonsäure, SbO_5, übergeführt, deren Hydrat weiß, unlöslich ist und gleich der Zinnsäure in zwei Modificationen erhalten werden kann; in starker Glühhitze gibt sie Sauerstoff ab und geht in die ebenfalls weiße antimonige Säure über.

Genau unter denselben Verhältnissen, wie Arsen Arsenwasserstoff liefert, bildet Antimon den Antimonwasserstoff, SbH_3, dessen Eigenschaften mit denen der ersten Verbindung nahezu vollständig übereinstimmen. Das drei-

Digitized by Google

fach Schwefelantimon, SbS_3, wie bemerkt, als Grauspießglanzerz natürlich auftretend, läßt sich künstlich durch direkte Vereinigung mit denselben Eigenschaften herstellen. Es entsteht wasserhaltig bei Behandlung von löslichen Antimonoxydverbindungen mit Schwefelwasserstoff und bildet dann ein rothbraunes Pulver, welches früher als Hauptbestandtheil vieler sehr geschätzter Medicamente, wie Mineralkermes, Metalljafran, Antimonschwefelleber u. dergl. häufig für Heilzwecke benutzt wurde. Es ist eine Sulfosäure gleich dem fünffach Schwefelantimon, SbS_5, welches als sogenannter Goldschwefel auch in der Medicin verwendet wird. Das fünffach Schwefelantimon ist hellroth. Mit Chlor liefert das Antimon zwei dem Oxyd und der Säure entsprechende flüchtige Verbindungen.

Alle säure-bildenden Metalle der eben erwähnten Gruppe zerlegen wohl in starker Glühhitze das Wasser, allein bei Gegenwart von Säuren vermitteln sie eine solche Zerlegung nicht, dagegen wohl wegen ihrer Neigung, Säuren zu bilden, falls man sie mit Alkalihydraten zusammenschmilzt. Die nun zu besprechenden Metalle vermögen in keiner Weise mehr, Wasser zu zerlegen. Die vorletzte kleine Gruppe umfaßt die Metalle Wismuth, Blei; Kupfer und Quecksilber, welches letztere wieder den Uebergang zur Gruppe der edlen Metalle bildet, deren Charakteristik wir bereits oben gegeben haben.

Wismuth.

Das Wismuth findet sich ziemlich selten, zumeist gediegen. Es ist weich, sehr spröde, leicht schmelzbar, weiß, krystallisirt in Rhomboëdern, hat ein spec. Gew. von 9,79, verflüchtigt sich in der Weißgluth und verbrennt mit schwacher Flamme zu Wismuthoxyd, BiO_3. Dieses ist im wasserfreien Zustande citronengelb, schmilzt leicht, liefert ein farbloses Hydrat, mit den Säuren farblose Salze, welche durch Wasser in saure lösliche und basische unlösliche zerlegt werden, unter welchen letzteren das basisch salpetersaure Wismuthoxyd (Magisterium Bismuthi) als Heilmittel dient. Das Wismuthhyperoxyd, BiO_2, ist ein schwarzbrauner pulverförmiger Körper; man kennt auch eine Wismuthsäure, BiO_5, deren Hydrat hellroth ist. Wismuthchlorid, $BiCl_3$, ist flüchtig und zerlegt sich mit Wasser, wie die Sauerstoffsalze des Wismuthoxyds.

Blei.

Das Blei wird nur selten gediegen angetroffen, findet sich aber reichlich als Sauerstoffsalze, Haloidverbindungen namentlich aber in Gestalt von Schwefelblei. Es hat eine bläulich graue Farbe, ein spec. Gew. von 11,44, ist weich, abfärbend, etwas dehnbar, schmilzt bei 300°, verflüchtigt sich in der Weißgluth und überzieht sich an der Luft bald mit einer matten grauen Schicht von Bleisuboxyd. Mit Sauerstoff vereinigt es sich leicht. Man kennt drei Bleioxyd. Oxydationsstufen desselben, das Bleioxyd PbO, Bleisesquioxyd Pb_2O_3 und das Bleisuperoxyd PbO_2. Beim Erhitzen von salpetersaurem Bleioxyd oder bei allmäliger Oxydation des schmelzenden Metalls an der Luft erhält man das Bleioxyd als ein gelbes Pulver, welches in stärkerer Hitze schmilzt und beim Erkalten zu einer röthlich-braunen schuppig krystallinischen Masse erstarrt, welche, beim Treiben des Silbers im Großen gewonnen, als Blei- oder Silberglätte in den Handel kömmt und allgemein als Material zur Darstellung anderer Bleiverbindungen benutzt wird. Das Hydrat des Blei-

Digitized by Google

oxyds ist weiß. Das Bleioxyd ist eine ziemlich kräftige Base, liefert mit den ungefärbten Säuren farblose Salze, hat eine große Neigung, basische Verbindungen hervorzubringen, deren eine große Anzahl bekannt ist und wird durch Kohle und andere reducirende Substanzen sehr leicht in metallisches Blei zurückgeführt. Läßt man gelbes Bleioxyd bei einer Hitze, welche das Schmelzen desselben noch nicht veranlaßt, längere Zeit mit Luft in Berührung, so wird weiterhin Sauerstoff aufgenommen und es entsteht ein hellrother Körper, die sogenannte Mennige, welche als Farbmaterial benutzt, meistens nach der Formel Pb_4O_5 zusammengesetzt ist, aber, falls man das Erwärmen möglichst lange fortgesetzt hat, die Zusammensetzung Pb_3O_4 erreicht. Wird Mennige mit verdünnter Salpetersäure erwärmt, so gibt sie Bleioxyd an diese ab und hinterläßt Bleisuperoxyd als ein dunkelflohbraunes Pulver, welches auch einen schwach sauren Charakter hat. Das Bleisesquioxyd ist ein rothgelbes, unkrystallinisches Pulver. Das Schwefelblei, PbS, findet sich als Bleiglanz natürlich. Es läßt sich durch Zusammenschmelzen von Schwefel und Blei künstlich erhalten und ist dann grau, metallglänzend, leicht schmelzbar, nach dem Erkalten krystallinisch. Alle löslichen Bleiverbindungen werden durch Schwefelwasserstoff unter Bildung von Schwefelblei zerlegt, wobei dieses sich als ein unlöslicher, braunschwarzer pulverförmiger Körper abscheidet. Das Chlorblei, Hornblei, PbCl, am leichtesten durch Einwirkung von Bleioxyd auf Salzsäure zu erhalten, ist farblos, löst sich schwierig im Wasser, krystallisirt aus der heißen Flüssigkeit in glänzenden Nadeln, schmilzt leicht und liefert dann nach dem Erkalten eine durchscheinende hornartige Masse. Mit Bleioxyd zusammengeschmolzen erhält man basische gelbe Verbindungen (Kaßlergelb). Jodblei ist ebenfalls gelb und krystallisirt aus heißem Wasser in glänzenden Blättchen. Neutrales salpetersaures Bleioxyd, POb, NO_3, krystallisirt aus wässeriger Lösung in Octaëdern und liefert, mit mehr Bleioxyd zusammengebracht, eine ganze Reihe basischer Salze. Wird ein gelöstes Bleioxydsalz mit kohlensaurem Alkali versetzt, so entsteht neutrales kohlensaures Bleioxyd, welches einen weißen Niederschlag bildet und natürlich als Weißbleierz vorkömmt. Eine Verbindung des neutralen Salzes mit Bleioxydhydrat, meistens nach der Formel $3(PbO, CO_2) + Pb, HO$ zusammengesetzt, ist das Bleiweiß, dessen Benutzung als Farbmaterial bekannt ist.

Mennige. Bleisuperoxyd. Chlorblei. Kohlensaures Bleioxyd. Bleiweiß.

Man stellt dieses Produkt nach mehreren Methoden dar, deren Prinzip jedoch immer dasselbe ist. Bringt man nämlich neutrales essigsaures Bleioxyd in wässeriger Lösung mit Bleioxyd zusammen, so bildet sich ein basisches Salz, welches beim Einleiten von Kohlensäure Bleiweiß von obiger Zusammensetzung fallen läßt, während neutrales essigsaures Bleioxyd in der Lösung zurückbleibt und zu demselben Zweck neuerdings dienen kann. Nach den französischen und englischen Methoden verwendet man auch in der That wässerige Lösungen der erwähnten Salze, erhält aber so ein Produkt von geringerer Deckkraft, wie durch das holländische Verfahren. Nach diesem werden spiralförmig gewundene Bleiplatten in irdene glasirte Töpfe auf einen an der inneren Wand angebrachten Vorsprung gesetzt, auf den Boden derselben Essig, gesäuertes Bier u. dergl. gegossen und das Gefäß mit einer Bleiplatte bedeckt; derlei Gefäße werden zu 6—8000 abwechselnd mit frischem Pferdedung übereinander geschichtet, das Ganze mit Doppelwänden umgeben, die gleichfalls mit Pferdedung ausgefüllt sind und durch einige Zeit sich selbst überlassen. Der Pferdedung geräth in eine Art Gährung, welche von Temperaturerhöhung und Kohlensäure-Entwicklung begleitet ist. Die in der Flüssigkeit befindliche Essigsäure verdampft allmälig,

Digitized by Google

bedingt, da Sauerstoff Zutritt findet, die Oxydation des Metalls und damit die Bildung von basisch essigsaurem Bleioxyd, welches, durch die Kohlensäure in der bezeichneten Weise zerlegt, Bleiweiß liefert. Dieses überzieht allmälig das Metall in einer dickeren Schicht, wird nachher durch Aufbiegen der Platten abgelöst und fein gemalen, mit Wasser zu einem Brei angerührt und in kleineren porösen Thongefäßen sorgfältig getrocknet, um so kleinere feste Kuchen zu bilden, welche die Handelswaare ausmachen. Nach der deutschen Methode ist das Verfahren eigentlich dasselbe, nur wendet man beheizte Kammern an, wo Essig u. dergl. in größeren Kästen aufgestellt ist, in welchen auf Querstangen dachförmig gebogene Bleiplatten aufgehängt werden.

Das schwefelsaure Bleioxyd, natürlich als Vitriolbleierz auftretend, ist im Wasser nahezu ganz unlöslich und bildet, künstlich dargestellt, ein weißes krystallinisches Pulver. Das Blei bildet eines der wichtigsten Nutzmetalle und wird daher, wo sich seine Erze vorfinden, daraus mit Vortheil gewonnen.

Gewinnung des Bleies.

Die verbreitetste Bleiverbindung, und somit das wichtigste Bleierz, ist der Bleiglanz, den man mit den etwa zufällig gleichzeitig vorhandenen Sauerstoffverbindungen des Bleies verschmilzt, was theils in Schacht-, theils in Flammenöfen vorgenommen wird. Bei der sogenannten Niederschlagsarbeit benutzt man die schon bei Antimon erwähnte große Verwandtschaft des Schwefels zu Eisen zur Abscheidung des Bleies, indem das Blei mit gekörntem Roheisen niedergeschmolzen wird, wobei sich über dem flüssigen Blei Schwefeleisen ansammelt. Häufiger noch wird der Bleiglanz vorerst geröstet, und so in ein Gemenge von Bleioxyd, schwefelsaurem Bleioxyd und unverändertem Schwefelblei verwandelt. Das Schwefelblei wirkt bei stärkerem Erhitzen reducirend auf das Oxyd und schwefelsaure Salz und es entwickelt sich schweflige Säure, während andererseits metallisches Blei entsteht: $2PbO + PbS = 3Pb + SO_2$ und $PbS + PbO, SO_3 = 2Pb + 2SO_2$. Auf diese Weise kann man durch einen unvollendeten Oxydationsprozeß, bei nachheriger Steigerung der Temperatur, das Blei metallisch gewinnen, und nimmt die Operation gewöhnlich in Flammenöfen vor, oder besorgt die Röstung in diesen und schmilzt das Gemenge hierauf in Schachtöfen durch.

Der Bleiglanz enthält sehr häufig Schwefelsilber. Die Verwandtschaft des Silbers zu Blei ist sehr groß, so, daß sich in dem erwähnten Falle nahezu sämmtliches Silber der Erze schließlich in dem Blei ansammelt. Dieses heißt dann Werkblei, und dient zur Ausbringung des Silbers (s. unten). Die Verwendung des Bleies ist eine sehr mannigfaltige, man stellt daraus Gefäße, Röhren, Folie, sowie zahlreiche Verbindungen dar. Die gewöhnlichen Zinngeräthe bestehen aus einer Legirung von Zinn und Blei. Um Bleischrot aus dem Metalle anzufertigen, setzt man ihm etwa 2% Arsenik zu, welches bedingt, daß das flüssige Metall bei der Fabrikation runde Tropfen bildet. Man läßt nämlich die geschmolzene Legirung durch einen Sieblöffel aus einer bedeutenden Höhe in ein untergesetztes, mit Wasser gefülltes Gefäß fallen. Auf dem Wege erstarren die Tropfen, und werden hierauf sortirt. Das Lettermetall besteht aus Blei, Antimon und etwas Wismuth.

Kupfer.

Kupfer findet sich natürlich gediegen, weit reichlicher aber als Oxydul, Oxyd und Schwefelmetall, für sich und in zahlreichen Sauerstoff- und Sulfo-Salzen. Um völlig reines Kupfer herzustellen, welches im Verkehre nicht vorkommt, reducirt man reines Kupferoxyd in der Glühhitze mit Wasserstoff

Digitized by Google

und schmilzt das Produkt unter Glas oder Borax zusammen. Das Kupfer ist roth, ziemlich hart, elastisch, zähe und sehr dehnbar; sein spec. Gewicht beträgt 8,92. Nach dem Schmelzen und Erkalten zeigt es eine glänzende, körnige Bruchfläche, wurde es aber gehämmert oder gewalzt, so wird seine Structur feinsehnig. In schwacher Weißglühhitze schmilzt es und leuchtet mit blaugrüner Farbe. Es absorbirt im geschmolzenen Zustande reichlich Sauerstoff und gibt diesen beim Erkalten wieder ab, wobei die aufsteigenden Gasbläschen feine Tropfen des Metalls umherschleudern, welche Erscheinung das Spratzen des Kupfers heißt, und sich auch beim Silber beobachten läßt. An der Luft erhitzt, überzieht sich das Metall zunächst mit einer rothen Schicht von Kupferoxydul, Cu_2O, welches aber weiter Sauerstoff aufnimmt und in Kupferoxyd, CuO, übergeht. Man kann das Kupferoxydul durch Glühen des Oxyds mit feinvertheiltem Metall erhalten. Es ist ein hellrothes, krystallinisches Pulver, und findet sich natürlich als Rothkupfererz. Sein Hydrat erscheint orangegelb. Mit Säuren liefert es meistens farblose Salze, die, gleich dem erhitzten, unverbundenen Oxydul, leicht Sauerstoff aufnehmen und in basische Oxydsalze übergehen. Das Kupferoxyd ist im wasserfreien Zustande braunschwarz, als Hydrat wird es durch Fällen gelöster Kupferoxydsalze mittelst Kalihydrat erhalten, und ist ein blaugrüner flockiger Körper, CuO, HO, der schon bei der Siedhitze des Wassers in wasserfreies Oxyd übergeht. Die Salze des Kupferoxyds sind wasserfrei meistens farblos, wasserhaltig oder gelöst erscheinen sie aber blau oder grün. Die Sauerstoff- wie die Haloidsalze zeigen große Neigung, basische Verbindungen hervorzubringen, deren eine große Reihe bekannt ist. Mit Schwefel verbindet sich Kupfer ungemein leicht. Das blanke Metall überzieht sich in Berührung mit Schwefelwasserstoff mit Schwefelkupfer, unter Entwicklung von Wasserstoff. Kupfer verbrennt mit Schwefel zu Halbschwefelkupfer, Cu_2S, welches natürlich als Kupferglanz auftritt, und auch in mehreren anderen Mineralien einen Hauptbestandtheil bildet, welche gerade als Kupfererze von Bedeutung sind, wie das Buntkupfererz: $3Cu_2S + Fe_2S_3$, Kupferkies: $Cu_2S + Fe_2S_3$, Bournonit: $3Cu_2S, SbS_3 + 2(3PbS, SbS_3)$, Fahlerz.

Oxyde des Kupfers.

Schwefelkupfer.

Leitet man durch die Lösung eines Kupferoxydsalzes Schwefelwasserstoff, so erhält man einfach Schwefelkupfer, CuS, als einen schwarzen, pulverförmigen Niederschlag. Dieselbe Verbindung findet sich natürlich als Kupferindig. Mit Chlor vereinigt sich Kupfer direkt zu Kupferchlorid, $CuCl$, welches braun und unkrystallinisch erscheint, in Wasser sich mit grüner Farbe löst und daraus mit 2 Atomen Wasser in grünen Krystallen erhalten werden kann. Bei stärkerem Erhitzen zerfällt die Verbindung in Chlor und Kupferchlorür, Cu_2Cl, welches farblos und im Wasser schwer löslich ist. Das als Farbmaterial verwendete Braunschweigergrün ist basisches Kupferchlorid, $CuO, CuCl$. Salpetersaures Kupferoxyd, CuO, NO_5, krystallisirt aus kalten Lösungen mit 6 Atomen Wasser und ist schön blau gefärbt. Durch Doppelzersetzung eines Kupferoxydsalzes mit kohlensaurem Kali erhält man das basische kohlensaure Kupferoxydhydrat, $CuO, CO_2 + CuO, HO$, als einen grünen Niederschlag. Der Malachit, sowie die grüne, auf Kupfer und Bronze mit der Zeit entstehende Patina, haben dieselbe Zusammensetzung, während die Kupferlasur der Mineralogen der Formel: $3CuO, 2CO_2 + HO$ entspricht. Der vielseitig angewendete Kupfervitriol ist schwefelsaures Kupferoxyd: CuO, SO_3. Dieses Salz findet sich hie und da natürlich, und wird künstlich im Großen durch Rösten von Schwefelkupfer, unter ähnlichen Umständen und Vorgängen wie

Chlorkupfer.

Kohlensaures Kupferoxyd.

Kupfervitriol.

Digitized by Google

Eisenvitriol aus Schweifeleisen, erzeugt. Aus der wässerigen Lösung krystallisirt es in lasurblauen Krystallen des ein- und einaxigen Systems mit 5 Atomen Wasser. Mengt man es reichlich mit Eisen- oder Zinkvitriol, so krystallisirt es gemeinschaftlich mit den genannten Salzen in den Formen der Letzteren mit 7 Atomen Wasser. Es ist somit mit diesen, und ferner mit schwefelsaurem Nickeloxydul, Kobaltoxydul, Manganoxydul und Bittererde isomorph, weshalb man die erwähnten Basen auch als jene der Magnesiareihe zu bezeichnen pflegt Die Verwendung des Kupfervitriols ist eine sehr mannigfaltige; er dient in der Medicin, in der Färberei, Galvanoplastik, zum Verkupfern u. s. w.

Gewinnung des Kupfers.

Die Gewinnung des Kupfers ist verschieden, je nachdem man Schwefelverbindungen oder Oxyde und deren Salze, wie Rothkupfererz, Malachit u. s. w. verwendet. Da sich letztere durch Kohle und Kohlenoxyd leicht reduciren lassen, so bedarf es nur eines einfachen Niederschmelzens, um unreines Kupfer daraus zu gewinnen, die Hauptmasse des Kupfers liefern uns aber die oben erwähnten schwefelhaltigen Erze, welche zumeist reichlich mit Eisen, zudem mit Antimon, Arsen, Blei und anderen Körpern verunreinigt sind und daneben meistens viel Gangart, d. h. fremde Gesteine, enthalten. Man pflegt sie zunächst einmal durchzuschmelzen, um die Schwefelmetalle zu vereinigen, während sich aus den beigemengten Silikaten eine Schlacke bildet. Das kupferhaltige Schmelzprodukt, der Rohstein, wird hierauf unvollständig geröstet, so daß neben den Oxyden und schwefelsauren Salzen der vorhandenen Metalle noch reichlich unveränderte Schwefelverbindungen zurück bleiben. Das Röstprodukt schmilzt man hierauf unter Zusatz von Schlacke wieder durch, wobei, vermöge der großen Verwandtschaft des Kupfers zu Schwefel, ersteres als Schwefelmetall sich wieder ansammelt, während die Verunreinigungen, namentlich das Eisen, als Oxyde in die Schlacke gehen. Das Produkt heißt nun Kupferstein und ist gewöhnlich schon so reich an Kupfer, daß man es nun vollständig abrösten und durch ein reducirendes Schmelzen in metallisches Kupfer überführen kann. Man nimmt diese Operationen theils in Schachtöfen, theils in Flammenöfen vor. Das Produkt heißt Schwarzkupfer und ist keineswegs unmittelbar zur Verwendung tauglich, da es immer noch reichlich Verunreinigungen, wie Eisen, Blei, Zink, Antimon enthält. Um diese wegzuschaffen, schreitet man schließlich zum Garmachen des Kupfers, indem man es in einer runden Heerdgrube, unter lebhaftem Gebläse, niederschmilzt und die Gebläseluft so lange auf das flüssige Metall einwirken läßt, bis der größte Theil der Verunreinigungen als geschmolzene Oxyde sich auf die Oberfläche begeben hat und eine herausgenommene Probe die erwünschte Dehnbarkeit des nun garen Kupfers zeigt. Man gießt dann auf das flüssige Metall kaltes Wasser und hebt die erstarrten Scheiben, welche Rosetten heißen, allmälig ab.

Kupferlegirungen.

Abgesehen von der vielseitigen Verwendung des unvermischten Metalls, hat das Kupfer auch wegen der vielen wichtigen Legirungen, die sich damit herstellen lassen, große Bedeutung. So wird Messing aus Zink und Kupfer zusammengesetzt; das rothe Messing, Tomback, enthält durchschnittlich 10 % Zink, das gelbe 20—25; die Glockenspeise, wegen ihrer Sprödigkeit und Härte zum Glockenguß besonders geeignet, enthält auf 78 Theile Kupfer 22 Theile Zinn und ist grauweiß. Kanonengut besteht aus 10 bis 11 Theilen Zinn auf 100 Theile Kupfer. Die Bronze der Alten ist aus Kupfer, Zinn und meistens auch Blei zusammengesetzt; die moderne Bronze enthält auch Zink. Kupfer, Nickel und Zink liefern das Packfong u. s. w.

Digitized by Google

Queckſilber.

Das Queckſilber findet ſich ziemlich ſpärlich gediegen, meiſt gemeinſchaftlich mit Schwefelqueckſilber, welches in größeren Maſſen auftritt. Das Metall erſtarrt erſt bei $-39{,}4^0$, iſt bekanntlich in gewöhnlicher Temperatur flüſſig, ſiedet bei 360^0, hat ein ſpec. Gew. von 13,59, eine zinnweiße Farbe und kann durch ſtarkes Schütteln mit fremden pulverförmigen Körpern ſehr fein vertheilt werden und ſich ſo in ein dunkelgraues Pulver verwandeln. Zu Sauerſtoff hat es geringe Verwandtſchaft; es bildet damit das Queckſilberoxydul, Hg_2O, und das Oxyd, HgO. Das Oxydul iſt ſchwarzbraun, verbindet ſich nicht mit Waſſer und zerlegt ſich ſehr leicht, namentlich am Licht in Metall und Queckſilberoxyd. Die Salze des Queckſilberoxyduls mit den farbloſen Säuren ſind im neutralen Zuſtande farblos. Es liefert aber eine ganze Reihe von baſiſchen Salzen und darunter auch gelbgefärbte. Durch längeres Erwärmen des Metalls auf 340^0 an der Luft läßt ſich Queckſilberoxyd erzeugen. Am leichteſten erhält man es aber durch Erhitzen des ſalpeterſauren Salzes, wobei ſich die Säure zerſetzt und verflüchtigt und das Oxyd als ein hellrothes kryſtalliniſches Pulver zurückbleibt. Zerſetzt man das Queckſilberchlorid durch Kalihydrat, ſo fällt das Oxyd als ein lichtgelbes Pulver aus der Flüſſigkeit. Es liefert kein Hydrat, verbindet ſich mit den Säuren zu neutralen, beſonders leicht aber zu baſiſchen Salzen, die ohne Ausnahme aber in ſtarker Hitze zerlegt werden, indem ſich das Queckſilber vom Sauerſtoff abtrennt, wie auch beim unverbundenen Oxyd geſchieht (ſ. S. 445). Queckſilberoxydſalze werden durch Schwefelwaſſerſtoff in einfach Schwefelqueckſilber, HgS, übergeführt, welches, in ſolcher Weiſe entſtanden, ein ſchwarzes Pulver iſt. Auch durch Zuſammenſchmelzen der beiden Elemente entſteht zunächſt ſchwarzes Schwefelqueckſilber. Wird die Verbindung ſublimirt, ſo condenſirt ſie ſich kryſtalliniſch, iſt dann lebhaft roth und hat alle Eigenſchaften des natürlichen Zinnobers. Man erzeugt den künſtlichen Zinnober entweder auf dem eben bezeichneten Wege oder indem man metalliſches Queckſilber einige Zeit unter beſtändigem Umrühren mit Schwefelleberlöſung gelinder erwärmt, wobei ſich zunächſt ſchwarzes Schwefelmetall bildet, welches allmälig in die rothe kryſtalliniſche Modifikation übergeht.

Oxyde des Queckſilbers.

Schwefelqueckſilber.

Die Verbindungen der Haloide mit Queckſilber ſind flüchtig. Das Chlorid, $HgCl$, wird fabrikmäßig durch Sublimation eines Gemenges von ſchwefelſaurem Queckſilberoxyd mit Chlornatrium bereitet, wobei ſchwefelſaures Natron und Queckſilberchlorid entſtehen. Letzteres verflüchtigt ſich und wird zu einer weißen unkryſtalliniſchen Maſſe condenſirt. Es löſt ſich leicht in Waſſer und Weingeiſt, kryſtalliſirt daraus in langen Prismen, iſt ſehr giftig und dient unter dem Namen *Queckſilberſublimat*, *Aetzſublimat* als Arznei zum Conſerviren von anatomiſchen Präparaten, Herſtellung anderer Queckſilberverbindungen ꝛc. Das Chlorür iſt im Gegenſatze im Waſſer ganz unlöslich. Man erzeugt es durch Miſchen des Chlorids mit 1 Atom Queckſilber und Sublimation des Gemenges: $HgCl + Hg = Hg_2Cl$. Es bildet eine faſerig kriſtalliniſche Maſſe, findet ſich als *Queckſilberhornerz*, entſteht bei Einwirkung von Salzſäure auf Queckſilberoxydulſalze als ein weißes Pulver und wird unter dem Namen *Calomel* als Heilmittel verwendet.

Chlorqueckſilber.

Die Gewinnung des Queckſilbers aus dem Zinnober beruht auf ſehr einfachen chemiſchen Vorgängen. Man erhitzt nämlich das Erz in paſſend eingerichteten Oefen unter reichlichem Luftzutritt, wobei der Schwefel zu ſchwefliger Säure verbrennt, während ſich gleichzeitig das Metall verflüchtigt.

Gewinnung des Queckſilbers.

Digitized by Google

Die Dämpfe desselben läßt man in eine Reihe von Kammern oder in Röhren und dergl. streichen, wo sich das Metall verdichtet und ansammelt.

Die edlen Metalle.

Silber.

Die letzte Gruppe der schweren Metalle umfaßt die edlen Metalle. Unter diesen ist zunächst das Silber als eines der verbreitetsten zu erwähnen. Man trifft es gediegen, zuweilen in Formen des regulären Systems krystallisirt, oft mit Gold legirt, als Schwefelsilber, spärlicher in Verbindung mit Chlor, Jod, Brom und Tellur. Es ist von schön weißer Farbe, lebhaftem Glanze und einem spec. Gew. von 10,48. Seine Dehnbarkeit wird nur von der des Goldes übertroffen. Mit Sauerstoff verbindet sich das Silber nicht direkt, doch kennt man drei Oxydationsstufen desselben; das Silberoxydul Ag_2O, das Silberoxyd AgO und das Superoxyd AgO_2. Die ersten beiden sind Basen. Die Eigenschaften des Silberoxyduls erinnern an die der entsprechenden Quecksilberverbindung, es ist wenig gekannt, sowie das Superoxyd. Das Silberoxyd erhält man durch Zersetzung seiner Salze mit Kali- oder Natronhydrat als einen braunen pulverförmigen Körper, der im Lichte, sowie bei schwacher Glühhitze, schon in Metall und Sauerstoff zerfällt. Es ist übrigens eine sehr starke Base, welche nie basische Salze hervorbringt und deshalb zur Bestimmung der Atomgewichte von Säuren sich vorzüglich eignet. Das salpetersaure Silberoxyd löst sich im Wasser und Weingeist, ist in gelinder Hitze schmelzbar und dient in den Laboratorien zur Herstellung anderer Silberverbindungen, sowie als Arzneimittel in der Medicin unter dem Namen Höllenstein. Zu Schwefel und den Haloiden äußert Silber eine viel größere Verwandtschaft als zu Sauerstoff. Die Verbindungen dieser Elemente mit Metallen lassen sich direkt hervorbringen und werden selbst durch starke Hitze nicht zerlegt. Sie entsprechen sämmtlich dem Silberoxyd. Das Schwefelsilber, AgS, natürlich als Silberglanz auftretend, findet sich auch als kräftige Sulfobase, mit Schwefelarsen oder Schwefelantimon verbunden, im Sprödglaserz, lichten und dunkeln Rothgültigerz und anderen Mineralien, welche zur Ausbringung des Silbers dienen. Chlorsilber, AgCl, fällt aus allen Lösungen der Silbersalze auf Zusatz von Salzsäure, als ein weißer, käsiger, ganz unlöslicher Niederschlag heraus. Beim Erhitzen schmilzt es zu einer gelben Flüssigkeit, welche unkrystallinisch erstarrt. Es wird natürlich als Hornsilber in Krystallen des regulären Systems gefunden. Brom- und Jodsilber gleichen in den meisten Beziehungen dem Chlorsilber.

Oxyde des Silbers.

Silbersalze.

Schwefelsilber.

Chlorsilber.

Der hohe Werth dieses Metalls bedingt, daß alle silberhaltigen Erze, wenn sie nicht außerordentlich arm sind, zur Gewinnung des Metalles verwendet werden können, wobei nach Umständen verschiedene Methoden im Gebrauche sind. Von dem Silbergehalte des Werkbleies und dessen Ursachen war bereits oben die Rede. Man gewinnt das Silber daraus durch Schmelzen des Metallgemenges unter reichlichem Luftzutritt, wobei sich das Blei oxydirt und als schmelzende Bleiglätte beseitigt wird, während das Silber metallisch zurückbleibt. Die Operation heißt das Treiben des Silbers.

Silbergewinnung.

Häufig finden sich Silbererze den Kupfererzen beigemengt, und es ist dann Aufgabe, neben dem Kupfer auch das Silber zu gewinnen. Man benutzt hierbei oft die bereits erwähnte Neigung des Bleies, sich mit Silber

Digitized by Google

zu mischen, die so groß ist, daß, wenn silberhaltiger Kupferstein mit metallischem Blei zusammengeschmolzen wird, letzteres den größten Theil des vorfindlichen Silbers aufnimmt und als Werkblei dann der Treibarbeit unterworfen wird. Auch hat man hie und da mit gutem Erfolge die sogenannte Silberextraction angewendet, deren Wesen darin besteht, durch einen passend geleiteten Röstprozeß das im Kupferstein enthaltene Schwefelsilber in schwefelsaures Silberoxyd überzuführen. Dieses wird dann mit Wasser aufgenommen und in die Lösung metallisches Kupfer gebracht, welches, unter Bildung von Kupfervitriol, das Silber abscheidet: $AgO, SO_3 + Cu = CuO, SO_3 + Ag$. Ein drittes, wesentlich von den vorhergehenden verschiedenes Verfahren, ist die Amalgamation. Man verfährt dabei in Europa in der Weise, daß die Erze, welche neben dem Silber auch etwas Schwefelkupfer und Eisen enthalten müssen, zunächst in Flammenöfen mit Kochsalz geröstet werden, wobei sich schwefelsaures Eisenoxyd und Kupferoxyd bilden, welche sich mit dem Chlornatrium in Chlormetalle umlegen und durch Zersetzung des Kupferchlorids die Entwicklung von Chlor veranlassen. Dieses liefert dann mit dem Silber Chlorsilber. Das Gemenge wird hierauf in hölzerne Tonnen gebracht und mit Wasser und Eisenplatten durch längere Zeit rotiren gelassen. Das Eisen reducirt das Chlorsilber zu Metall, welches von dem nun später zugesetzten Quecksilber zu einem flüssigen Amalgam gelöst wird. Das Amalgam preßt man schließlich von dem überschüssigen Quecksilber ab und erhitzt es in gußeisernen Röhren, wobei sich das Quecksilber verflüchtigt und das Silber zurückbleibt. Ein ähnliches Verfahren, mit dem Unterschiede, daß man das Rösten durch Zusatz von Kupfervitriol u. dergl. vermeidet, um Brennstoff zu ersparen, ist im südlichen Amerika gebräuchlich. Da das Silber sehr weich ist und sich beim Gebrauche daraus angefertigter Münzen und Geräthe leicht abnutzt, pflegt man es mit Kupfer zu legiren, von welchem Metall nahe an 40 % zugesetzt werden können, ohne daß die Farbe desselben wesentlich verändert würde, während das Produkt härter ist als reines Silber.

Platin.

Platinmetalle.

In vielen Beziehungen steht dem Silber das Palladium nahe, welches für sich oder mit anderen Metallen (den sogenannten Platinmetallen), namentlich in den Platinerzen vorkömmt und mit dem Hauptrepräsentanten, dem Platin selbst auch manche Eigenschaft theilt. Die Platinmetalle finden sich nur gediegen und zwar fast allgemein in aufgeschwemmtem Schuttlande, namentlich am Ural. Das eigentliche Platinerz ist eine Legirung von Platin mit Rhodium, Iridium, Osmium, Palladium, Eisen und Kupfer. Demselben findet sich eine andere Legirung von Osmium mit Iridium und Ruthenium beigemengt, welche Osmiumirid heißt. Um das Platin daraus zu gewinnen, erwärmt man das Gemenge längere Zeit mit starkem Königswasser, wovon das Osmiumirid nicht angegriffen wird, während die im Platinerze enthaltenen Metalle in lösliche Chloride übergehen. Man setzt hierauf zur Flüssigkeit Salmiaklösung; es bildet sich ein schwer lösliches Doppelsalz von Platinchlorid mit Chlorammonium. Dieses trennt man durch Filtriren von der Lösung der übrigen Metalle, trocknet es und glüht, wobei der Salmiak sich verflüchtigt, das Chlor sich von dem Platin abtrennt und dieses als eine graue poröse Masse (Platinschwamm) zurückbleibt. Das so erhaltene fein vertheilte Platin sucht man durch starkes Pressen in einen lose zusammenhängenden Zustand überzuführen, hierauf wird es einer heftigen Weißglühhitze

Digitized by Google

ausgesetzt und in dieser Temperatur, wo es schweißbar ist, durch Hammerschläge zu dichtem Metall vereinigt. Es ist grauweiß, sehr dehnbar, schmilzt nur im Knallgasgebläse, zeigt ein spec. Gew. von 21,4, wird weder von Salpetersäure, Schwefelsäure, noch von den Wasserstoffsäuren angegriffen, oxydirt sich nicht beim Glühen an der Luft und eignet sich deßhalb vorzüglich zu Geräthen, in welchen Säuren u. dergl. behandelt werden sollen. Von der mächtigen Fähigkeit des Platins, fein vertheilte gasförmige Körper auf der Oberfläche zu condensiren, war bereits bei Wasserstoff die Rede. Wird die Lösung einer Platinverbindung mit Ameisensäure, Zucker und ähnlichen reducirend wirkenden Stoffen erwärmt, so fällt das Platin außerordentlich fein vertheilt als ein schwarzes Pulver, Platinmohr, Platinschwarz heraus, welches die Wirksamkeit des Platinschwamms in noch höherem Grade zeigt. Das Platin verbindet sich nur schwierig mit Sauerstoff und liefert das Platinoxydul PtO und das Oxyd PtO_2. Zerlegt man Platinchlorür, PtCl, mit Natronlauge, so erhält man das Hydrat des Platinoxyduls als ein schwarzes Pulver. Es ist eine sehr schwache Base. Ebenso das Platinoxyd, dessen Hydrat in gleicher Weise aus Platinchlorid, $PtCl_2$, als ein rostbraunes Pulver dargestellt werden kann, welches in schwacher Wärme schwarzes, wasserfreies Oxyd zurückläßt und gleich dem Oxydul beim Glühen in Sauerstoff und Metall zerfällt. Das Platinoxyd hat eher den Charakter einer Säure und liefert mit den Sauerstoffsäuren dunkelgelbe nichtkrystallisirbare Salze, welche sehr unbeständig sind. Chlor vereinigt sich unmittelbar mit Platin zu Platinchlorid, weßhalb sich das Metall auch in Königswasser auflösen läßt. Die rothgelbe Flüssigkeit gibt beim Verdampfen braunrothe nadelförmige Krystalle des Chlorids mit 10 Atomen Krystallisationswasser. Mit Chlorammonium und Chlorkalium vereinigt sich das Chlorid zu gleichen Atomen und liefert ein im Wasser schwer lösliches in Octaëdern krystallisirtes gelbes Doppelsalz; mit Chlornatrium dagegen eine leicht lösliche Verbindung. Beim Erwärmen von Platinchlorid auf 200° gibt dieses Chlor ab und hinterläßt Platinchlorür als ein grau grünes, im Wasser unlösliches Pulver. Die übrigen mit Platin gemeinschaftlich vorkommenden, bereits aufgezählten Metalle bieten zwar manche Eigenthümlichkeit dar, zeigen auch andererseits viele chemische Aehnlichkeit mit dem Platin, sind aber ziemlich unvollständig bekannt. Es verdient hervorgehoben zu werden, daß das Osmium in vieler Hinsicht an das Platin erinnert, neben anderen Oxyden aber auch eine Säure gibt, welche flüchtig, von durchdringendem Geruch und energisch giftigen Eigenschaften ist.

Gold.

Wir beschließen die Schilderung der Metalle mit dem Golde, welches, stets gediegen auftretend, in seinen chemischen Eigenschaften manche Eigenthümlichkeit darbietet und unter allen Metallen die geringste Verwandtschaft zu den negativen Elementen zeigt. Das Gold ist schön gelb, lebhaft glänzend, sehr weich, außerordentlich dehnbar und nur in ungemein starker Hitze flüchtig. Sehr dünne Goldblättchen sind mit blaugrünem Lichte durchscheinend. Das spec. Gew. des Goldes beträgt 19,5. Von Sauerstoffverbindungen kennt man näher das Goldoxydul, AuO, und das Goldoxyd, AuO_3. Ersteres bildet ein dunkelviolettes Pulver, Letzteres ist braun, verbindet sich mit Säuren nicht, dagegen aber mit Basen, namentlich Kali. Beide Oxyde werden schon in gelinder Hitze zerlegt und hinterlassen das Metall. Beim

Digitized by Google

Erwärmen zersetzen sich überhaupt in demselben Sinne alle Verbindungen des Goldes. Durch Auflösen des Goldes in Königswasser erhält man Goldchlorid, $AuCl_3$, welches beim Eindampfen eine dunkelviolette krystallinische Masse liefert, deren wässerige Lösung gelb gefärbt ist. Mit Chlornatrium und Chlorkalium gibt das Goldchlorid leicht-krystallisirbare gelbe Doppelsalze. Da das Gold natürlich immer gediegen vorkömmt, so ist seine Gewinnung eine mehr mechanische als chemische Operation, indem man den goldführenden Sand oder derlei Gesteine nach vorhergegangenem Zerkleinern mit Wasser schlämmt, wobei die Goldtheilchen als die schwersten des Gemenges endlich zurückbleiben. Zuweilen setzt man Quecksilber zu, um mit dem Golde ein flüssiges Amalgam zu bilden, welches dann in ähnlicher Weise, wie das Silberamalgam, behandelt wird. Aus ähnlichen Gründen wie bei Silber verarbeitet man gewöhnlich nicht reines Gold, sondern Legirungen desselben mit Kupfer und Silber.

Digitized by Google

V.

Die organiſchen Verbindungen.

Der Antheil der Atmoſphäre und der Erde an der Entwicklung der Organismen.

Die chemiſchen Umwandlungen, welche unausgeſetzt die Erdoberfläche erleidet, ſind ſehr zahlreich, allein, da ſie meiſtens nur ſehr allmälig eintreten, wenig auffallend, und bleiben daher gewöhnlich unbeachtet. Bei allen jenen Veränderungen, welche von chemiſchen Kräften abhängen, nimmt, wie wir ſchon früher andeuteten, die Atmoſphäre einen ſehr weſentlichen Antheil. Mineralien und Gebirgsarten, welche Eiſen- oder Manganoxydul enthalten, wie das mehr oder weniger bei allen verbreiteteren ſtattfindet, erleiden durch die Umbildung in die Oxyde der genannten Metalle zunächſt eine oberflächliche Auflockerung, die eine allmälige Verwitterung des Geſteins anbahnt, wobei die Kohlenſäure und das Waſſer mächtig mitwirken. So ſchwach nämlich die Kohlenſäure, im Vergleiche mit den meiſten anderen Säuren iſt, ſo vermag ſie dennoch bei gleichzeitiger Gegenwart des Waſſers die Kieſelſäure aus den natürlichen Silikaten allmälig zu verdrängen, ſich der Baſen zu bemächtigen und dieſe, freilich ſtets nur in geringer Menge, in Löſung zu führen. Selbſt die Thonerde widerſteht dieſer Einwirkung nicht, und auch andere unlösliche Verbindungen, wie namentlich der vielverbreitete phosphorſaure Kalk, löſen ſich im kohlenſäurehaltigen Waſſer auf. Dieſe Einwirkung macht ſich in jenem Gemenge verwitterter Geſteine, welches wir als fruchtbaren Boden bezeichnen, beſonders geltend, und erfüllt damit eine der Hauptbedingungen der Entwicklung von darauf gedeihenden Pflanzenorganismen, welche immer eine gewiſſe Menge beſtimmter unorganiſcher Verbindungen bedürfen. Als ſolche ſind zu bezeichnen: Kalk, Kali, Natron, Eiſen, Phosphorſäure, Schwefelſäure, Chlor, Kieſelſäure u. ſ. w. Jeder Boden muß demnach von dieſen Stoffen die nöthige Menge und zugleich in einem ſolchen Zuſtande enthalten, daß die Aufnahme ſeitens der Pflanzen ohne Hinderniſſe erfolgen kann. Wenn wir, wie bei der Cultur, die Pflanzen periodiſch entfernen, ſo ſtellt ſich ſehr häufig eine Erſchöpfung des Bodens ein, nicht etwa weil in demſelben die genannten unorganiſchen Stoffe abſolut fehlen, ſondern, weil die durch Kohlenſäure und Waſſer bedingte Verwitterung mit dem Verbrauch ſeitens der Pflanzen nicht gleichen Schritt halten kann. Dieſem Uebelſtand pflegte man früher durch das Brachliegen zu begegnen, indem man der gehörig aufgelockerten Erde Zeit ließ, durch Verwitterung wieder die für eine folgende Ernte nöthigen Mineralſtoffe im aſſimilirbaren Zuſtande aufzuſpeichern. Die Erfahrung lehrte, daß auf einem Boden, wo eine gewiſſe Pflanzengattung nicht mehr gedeiht, eine andere noch recht gut fortkommt und ſpäter das frühere Culturgewächs wieder mit Vortheil gebaut werden konnte. Die Unterſuchung der Aſche, in welcher wir die Mineral-

Die Brache- und Wechſelwirthſchaft.

Digitized by Google

stoffe der Pflanzen wiederfinden, beweist, daß nicht jede Pflanzenart gleiche Mengen und gleiche Qualitäten der Mineralbestandtheile bedarf, so daß, während sich für eine Gattung noch hinreichend von bestimmten Stoffen im Boden vorfand um eine genügende Ernte zu liefern, gleichzeitig durch weiterschreitende Verwitterung wieder die für eine andere Culturpflanze nöthigen Mineralbestandtheile in Bereitschaft gesetzt wurden. Auf diesen einfachen Verhältnissen beruht die sogenannte Wechselwirthschaft. Untersuchen wir zudem die Wirksamkeit des bei Culturpflanzen allgemein angewendeten Düngers, so sehen wir, daß auch hier die in den Exkrementen und verwesenden Pflanzenstoffen aufgehäuften unorganischen Salze bei dem Erfolge den mächtigsten Antheil haben, da dem Boden wieder ein Theil der mit der Ernte weggebrachten Mineralstoffe damit zurückgegeben wird. Die günstige Wirkung des Düngers beruht aber nicht allein auf diesem Umstande. Die in denselben enthaltenen verwesenden organischen Stoffe geben beständig Kohlensäure und kohlensaures Ammoniumoxyd ab, und gerade diese sind es, welche im Vereine mit Wasser die Materialien vorstellen, aus welchen die sich entwickelnde Pflanze all die zahlreichen Körper bildet, die sich in derselben, abgesehen von den Mineralsubstanzen, vorfinden. Bei einigen der Ersteren nehmen übrigens auch Schwefel und Phosphor an der Zusammensetzung Theil. Alle sind aber kohlenstoffhaltig. Neben diesem Elemente findet man darin auch stets Wasserstoff, häufig auch Sauerstoff und endlich Stickstoff.

Dünger.

Bildung organischer Stoffe in den Pflanzen.

Jener Theil der Chemie, welcher sich mit der Entstehung, Zusammensetzung und Umwandlung dieser Substanzen beschäftigt, heißt die organische Chemie. Die während des Lebens entstehenden Körper und alle daraus auf natürlichem oder künstlichem Wege abgeleiteten Stoffe werden organische Körper genannt. Auch die Thiere sind der Hauptmasse nach aus organischen Substanzen zusammengesetzt; diese werden aber dort nicht etwa erst aus Kohlensäure, Wasser und Ammoniak gebildet, sondern nur durch die das thierische Leben begleitenden chemischen Prozesse umgewandelt, assimilirt. Die Produkte des Pflanzenlebens, welche sich hiezu eignen, heißen Nahrungsmittel. Während somit die Pflanze das Material für den Aufbau ihres Organismus ausschließlich der unorganischen Welt entnimmt, und durch in ihren Einzelnheiten bisher noch unerkannte chemische Vorgänge, aus Wasser, Kohlensäure, Ammoniak, Schwefel- und Phosphorsäure all die complicirten organischen Verbindungen herstellt, welche sich theils allgemein in ihnen finden, theils auf einzelne Pflanzen oder kleinere Gruppen derselben beschränkt sind, geht dem Thiere die Fähigkeit, derlei Produkte aus den erwähnten Grundstoffen zu bilden, völlig ab. Sie vermögen, wie gesagt, nur bereits fertige organische Substanzen für ihren Lebensprozeß zu verwenden, wobei diese freilich in sehr vielen Fällen in ihrer Zusammensetzung und somit Beschaffenheit, eine durchgreifende Veränderung erleiden, aber nicht selten auch unverändert aufgenommen und in bestimmten Theilen des Organismus abgelagert werden. Bei Thieren, welche sich bloß von anderen Thieren und nicht von Pflanzen nähren, dienen die ersteren als ein vermittelndes Glied, ohne daß der Verlauf im Ganzen ein verschiedener wäre.

Organische Chemie.

Man darf jedoch nicht glauben, daß die Entstehung der organischen Verbindungen überhaupt von gewissen Kräften bedingt sei, welche sich nur im lebenden Organismus äußeren und der chemischen Verwandtschaft in ihrer Wirkung gleichsam vorstehen, letztere nach anderen Gesetzen ordnen, als dieß außerhalb des Organismus stattfindet. Eine solche Meinung, welche sich

Digitized by Google

Künstliche Erzeugung organischer Stoffe.

lange Zeit hindurch behauptet hat, ist völlig widerlegt durch die Möglichkeit, künstlich in den Laboratorien Körper zu erzeugen, die mit in den Organismen während des Lebens hervorgebrachten Stoffen völlig übereinstimmen. Derlei Fälle kennen wir zwar bisher noch nicht viele, aber ein einziger ist schon beweisend genug. Unsere dießfälligen Erfahrungen sind eben noch beschränkt, die Erweiterung derselben schreitet jedoch immer vor. Als eines der wichtigeren Beispiele mag hier angeführt werden, daß wir das Cyan, einen Körper, welcher sich in Pflanzen und Thieren vorfindet, künstlich darstellen, bei völligem Ausschluß jeder organischen Thätigkeit, daraus den Harnstoff, welcher sich im Harne der Säugethiere als Produkt ihres Lebensprozesses findet, ferner unter Vermittlung des Cyans auch Ameisensäure bereiten können, welche, wie der Name andeutet, in den Ameisen vorkommt.

Cyan.

Die Beschreibung des Cyans mag uns zunächst beschäftigen. Es ist nach der Formel C_2N zusammengesetzt, im unverbundenen Zustande gasförmig und steht gleich der Kohlensäure, dem Wasser und Ammoniak, an der Grenzscheide zwischen der organischen und unorganischen Welt. Seine Bildung geht in mannigfaltiger Weise vor sich. Schmilzt man stickstoffhaltige organische Stoffe mit Kalihydrat oder kohlensaurem Kali, so entsteht Cyankalium. Unterwirft man die genannten Körper der trockenen Destillation, so bildet sich Cyanammonium. Wenn Stickstoff, bei Gegenwart von kohlensaurem Kali, mit weißglühender Kohle in Berührung kommt, wie z. B. im Eisenhohofen (s. S. 516), so vereinigt sich der Stickstoff mit dem Kohlenstoff direkt zu Cyan, welches sich mit dem durch die Kohle reducirten Kalium verbindet. In letzterem Falle ist gewiß jeder Zusammenhang mit organischen Stoffen ferne. Das Cyan gehört zu den zusammengesetzten Radikalen, es schließt sich gleich dem Ammonium in seinem chemischen Verhalten den Elementen an. Seine Verbindungsweisen stellen es neben die Haloide, mit welchen es, abgesehen von seiner Zerleglichkeit, die größte Aehnlichkeit hat. Die Darstellung des Cyans erinnert an die des Sauerstoffs aus Quecksilberoxyd. Man erhält es nehmlich durch Erhitzen von Cyanqueckſilber, wobei es gasförmig entweicht. Es ist farblos, coërcibel, läßt sich in starker Kälte zu einer krystallinischen Masse verdichten, hat einen eigenthümlichen Geruch und ein spec. Gew. von 1,8. An der Luft angezündet, verbrennt es mit violetter Flamme. Wird Cyankalium mit Bleioxyd zusammengeschmolzen, oder ähnlichen oxydirenden Einflüssen unterworfen, so nimmt es Sauerstoff

Cyansäure.

auf und verwandelt sich in cyansaures Kali: $KC_2N + 2O = KO, C_2NO$. Die Cyansäure ist sehr unbeständig, kann aber durch Doppelzersetzung auf viele Basen unverändert übertragen werden. Leitet man unter Erwärmen über cyansaures Silberoxyd Salzsäuregas, so entsteht Chlorsilber, während sich Cyansäurehydrat, C_2NO, HO, verflüchtigt. Es ist eine ätzendsaure, durchdringend riechende Flüssigkeit, welche nur bei sehr niedriger Temperatur, und selbst dann nur kurze Zeit unzerlegt bleibt, und sich bald unter namhafter Wärmeentwicklung, ohne Veränderung ihrer Zusammensetzung, in eine weiße, geruchlose, ganz indifferente Masse verwandelt, welche Cyammelid heißt, und beim Erwärmen in einer Retorte wieder Cyansäurehydrat mit seinen ursprünglichen Eigenschaften liefert. Mit Wasser in Berührung, zerfällt letzteres augenblicklich in doppeltkohlensaures Ammoniumoxyd: $C_2NO, HO + 3HO = NH_4O, 2CO_2$. Wir sehen schon aus diesen wenigen Andeutungen, welch' große Beweglichkeit die Atome im Cyan und seinen Verbindungen sich bewahrt haben, wie dieß aus dem Folgenden noch deutlicher hervorgehen soll.

Digitized by Google

Unter den cyansauren Salzen ist cyansaures Ammoniumoxyd das Interessanteste. Bringt man Cyansäurehydrat mit Ammoniakgas zusammen, so entsteht dieses Salz, welches im Wasser löslich ist und auf Zusatz von Alkalien Ammoniak entweichen läßt, wie die anderen Ammoniumsalze, kurz, sich genau wie eine Verbindung der Cyansäure mit Ammoniumoxyd verhält. Dampft man aber die Lösung desselben ein, so erhält man Krystalle von Harnstoff, worin sich weder Ammoniumoxyd noch Cyansäure mehr nachweisen lassen und welcher, als ein Produkt sehr complicirter Umsetzungen, aus dem Organismus höherer Thiere, im Harne derselben, abgeschieden wird. Obwohl also die Zusammensetzung des cyansauren Ammoniumoxyds genau die des Harnstoffs ist, erscheinen die Eigenschaften der beiden Körper völlig verschieden, ein Fall, der bei organischen Verbindungen übrigens ziemlich häufig vorkommt. Wir nennen solche Stoffe von gleicher Zusammensetzung und abweichenden Eigenschaften *isomer*. Harnstoff.

Außer der Cyansäure kennt man noch zwei Säuren von gleicher Zusammensetzung, nur ist die absolute Anzahl der darin enthaltenen Atome verschieden groß. Erhitzt man Harnstoff mit Vorsicht so lange, als sich Ammoniak entwickelt, so hinterbleibt eine dreibasische Säure von der Formel: $C_6N_3O_3$, 3HO. Sie heißt *Cyanursäure*, ist farblos, krystallisirbar und entspricht in ihrer Zusammensetzung 3 Atomen Cyansäurehydrat, welche sich zu dieser Gruppe höherer Ordnung vereinigt haben. Wird die Säure erhitzt, so verwandelt sie sich wieder in Cyansäure. Ferner kennen wir noch eine Säure, welche der Formel: $C_4N_2O_2$, 2HO entspricht. Man nennt sie *Knallsäure*; sie entsteht bei Einwirkung von salpetriger Säure auf Weingeist, wenn salpetersaures Silberoxyd oder Quecksilberoxyd gegenwärtig sind, und scheidet sich, mit diesen Basen verbunden, als krystallinisches Salz ab. Die knallsauren Salze explodiren beim Erhitzen oder Schlagen sehr heftig. Die Quecksilberoxydverbindung dient zum Füllen der Zündkapseln und wird deßhalb fabrikmäßig dargestellt. Das Hydrat der Knallsäure ist nicht bekannt. Wir sehen aber, daß ihre procentische Zusammensetzung völlig mit der der Cyansäure übereinstimmt. Der Unterschied zwischen den drei Säuren liegt nicht in dem verschiedenen Verhältnisse der darin verbundenen Atome, sondern in der verschiedenen absoluten Zahl derselben; eine Erscheinung, welche ebenfalls häufig bei organischen Verbindungen vorzukommen pflegt und mit dem Namen *Polymerie* bezeichnet wird. Cyansäure, Knallsäure und Cyanursäure sind demnach *polymere* Substanzen. Cyanursäure. Knallsäure. Polymerie.

Die schon erörterte Aehnlichkeit des Cyans mit den Haloiden läßt voraussetzen, daß sich das Cyan mit Wasserstoff zu einer Säure verbindet. In der That läßt sich durch Behandlung der Cyanmetalle am zweckmäßigsten des Cyankaliums ganz nach dem Vorgange der Bildung von Chlorwasserstoff, Cyanwasserstoff darstellen. Die *Cyanwasserstoffsäure*, HC_2N, auch *Blausäure* genannt, ist im wasserfreien Zustande eine farblose, sehr flüchtige Flüssigkeit von durchdringendem, betäubendem Geruch und höchst giftigen Eigenschaften. Mit Wasser mischt sie sich in allen Verhältnissen, zersetzt sich aber in der Lösung bald und scheidet braune, flockige Substanzen ab. Wird Blausäure mit verdünnten Mineralsäuren erwärmt, so bildet sich, unter Mitwirkung des Wassers, ein entsprechendes Ammoniumoxydsalz, während Ameisensäurehydrat sich verflüchtigt: $HC_2N + HO, SO_3 + 4HO = NH_4O, SO_3 + C_2HO_3, HO$. Es ist also durch eine Umlegung der Atome der Stickstoff in eine neue Gruppe eingetreten, während Sauerstoff mit dem Reste der Blausäure Ameisensäure gebildet hat. Der entgegengesetzte Erfolg, welcher uns Blausäure.

Digitized by Google

zugleich den einfachen Zusammenhang zwischen der Ameisensäure und dem Cyan wiederholt darthut, macht sich geltend, wenn man ameisensaures Ammoniumoxyd in einer Retorte erhitzt, denn in der Vorlage sammelt sich dann wieder wasserhaltige Blausäure an: $NH_4O, C_2HO_3 = HC_2N + 4HO$. Mit den Metallen verbindet sich Cyan leicht. Der Charakter der Cyanmetalle entspricht dem der Haloidsalze. Sie lassen sich durch Zersetzung der betreffenden Oxyde mit Blausäure herstellen. Das wichtigste Cyanmetall ist Cyankalium, von dessen Entstehung schon beim Hohofenprozeß die Rede war. Man stellt es gewöhnlich durch Schmelzen von Ferrocyankalium dar, einer Verbindung, welche Eisen, Cyan und Kalium enthält und in der Hitze in Cyankalium, Kohlenstoffeisen und Stickstoff zerfällt. Das dünnflüssig schmelzende Cyankalium gestattet, daß das Kohlenstoffeisen sich ablagert, während das geschmolzene Cyanmetall leicht abgegossen werden kann. Es erstarrt zu einer krystallinischen, weißen Salzmasse, ist im Wasser und Weingeist leicht löslich, und gleich allen löslichen Cyanmetallen sehr giftig. Die meisten Verbindungen des Cyans mit schweren Metallen lösen sich in Wasser nicht auf.

Cyanmetalle.

Außer diesen, den einfachen Haloidsalzen entsprechenden Cyanverbindungen, sind noch complicirtere von eigenthümlicher Zusammensetzung bekannt, wo ein Metall sich mit mehreren Atomen Cyan zu einem zusammengesetzten Radikal höherer Ordnung vereinigt hat, welches sich wieder mit Wasserstoff zu Wasserstoffsäuren und mit den Metallen zu Salzen verbindet. Die wichtigste Verbindung dieser Art ist das Ferrocyan, FeC_6N_3, von dessen Kaliumsalz eben oben die Rede war. Bringt man Eisenoxydulsalze oder metallisches Eisen mit Cyankaliumlösung zusammen, so wird das Ferrocyan gebildet und vereinigt sich sogleich mit einem Theile des Kaliums zu Ferrocyankalium: $FeC_6O_3, 2K$. Dieses Salz ist im Wasser leicht löslich, liefert damit eine gelbe Flüssigkeit, aus welcher die Verbindung mit drei Atomen Krystallwasser in gelben Krystallen sich abscheidet. Man stellt dieses Salz, welches auch Blutlaugensalz genannt wird, durch Zusammenschmelzen von kohlensaurem Kali mit stickstoffreichen organischen Substanzen, wie Wolle, getrocknetes Blut, Horn ꝛc. dar, wobei sich zunächst Cyankalium bildet. Während des Schmelzens wird auch Eisenfeile oder Eisenhammerschlag, Spatheisenstein zugesetzt, welche eine Beimengung von fein vertheiltem Eisen veranlassen, so daß beim nachfolgenden Auslaugen mit warmem Wasser sich in erwähnter Weise Ferrocyankalium bildet, welches dann durch Eindampfen und Erkalten der Lösung krystallisirt erhalten wird. Die Ferrocyanmetalle sind meist im Wasser unlöslich. Ferrocyanwasserstoffsäure, $FeC_6N_3, 2H$, ist im Wasser löslich und krystallisirt daraus in farblosen Würfeln. Ferrocyankupfer hat eine schöne rothbraune Farbe und wird als Farbmaterial benützt. Versetzt man die Lösung von Ferrocyankalium mit überschüssigen Eisenoxydsalzen, so entsteht der als Berlinerblau, Pariserblau, bekannte und verwendete schönblaue unlösliche Körper, dessen Formel: $3FeC_2N_3, 4Fe$ ist und welcher sich nach folgendem Schema bildet: $2(Fe_2O_3, 3SO_3) + 3(FeC_6N_3, 2K) = 6(KO, SO_3) + 3FeC_6N_3, 4Fe$. Das Ferrocyankalium wird hauptsächlich in der Färberei benützt, sowie zur Darstellung von Cyankalium, welches letztere man namentlich bei der galvanischen Vergoldung anwendet. Wenn in eine Lösung von Ferrocyankalium so lange Chlor eingeleitet wird, bis auf Zusatz von Eisenoxydsalz kein Berlinerblau mehr entsteht, so liefert die Flüssigkeit nach dem Verdampfen rothe prismatische Krystalle, welche ebenfalls aus Cyan,

Ferrocyan.

Berlinerblau.

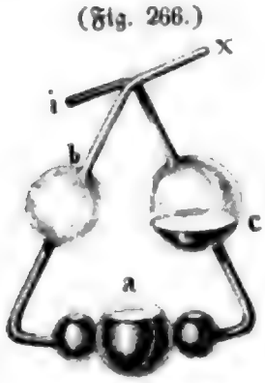
Ferridcyan.

Digitized by Google

Eisen und Kalium bestehen, nur ist das Kalium hier mit einem neuen Radikal, dem Ferridcyan: $Fe_2C_{12}N_6$, verbunden, während $^1/_4$ des Kaliums als Chlorkalium ausgetreten ist: $2(FeC_6N_3, 2K) + Cl = Fe_2C_{12}N_6, 3K + KCl$. Das Ferridcyan liefert mit Wasserstoff die Ferridcyanwasserstoffsäure, $Fe_2C_{12}N_6, 3H$, welche im Wasser löslich und daraus in bläulich schimmernden Nadeln krystallisirbar ist. Ferridcyankalium (rothes Blutlaugensalz) gibt mit Eisenoxydulsalzen Ferridcyaneisen: $Fe_2C_{12}N_6, 3Fe$, einen blauen Körper, welcher die größte Aehnlichkeit mit Berlinerblau hat und Turnbull'sblau heißt. Auch Kobalt, Platin und andere Metalle sind im Stande, ähnliche dem Ferro- oder Ferridcyan entsprechende Verbindungen hervorzubringen, die sich dann wieder mit Metallen zu eigenthümlichen Salzen vereinigen. Mit Schwefel bildet das Cyan ebenfalls ein selbstständiges Radikal, das Rhodan: C_2NS_2, welches mit Wasserstoff eine Säure und mit Metallen eine ganze Reihe von Haloidsalzen liefert. Rhodannatrium (C_2NS_2, Na) findet sich im menschlichen Speichel. Rhodan.

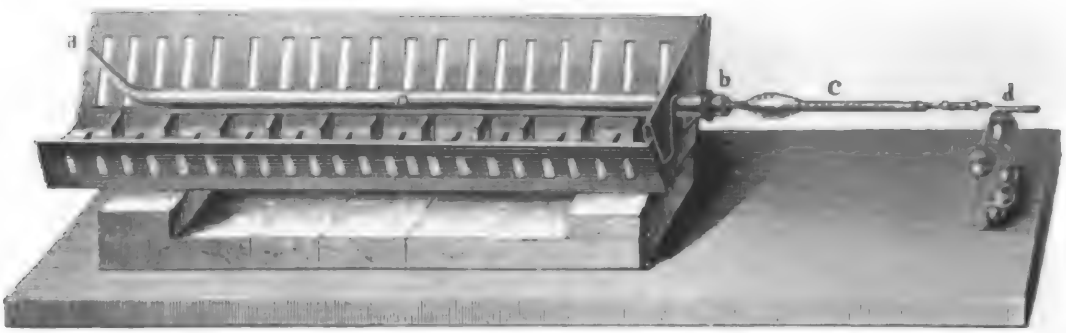
Es scheint hier am Platze, die Frage zu erörtern, in welcher Weise die Chemiker zur Kenntniß der Zusammensetzung der organischen Verbindungen gelangen. Es geschieht dieß durch die organische Elementaranalyse, deren Wesen darin besteht, daß eine gewogene Menge des zu analysirenden Körpers in einem passenden Apparat vollständig verbrannt wird, so daß der Kohlenstoff in Kohlensäure, der Wasserstoff in Wasser übergehen, welche in zuvor gewogenen Vorrichtungen aufgesammelt und nachher gewogen werden. Kennt man nun das Gewicht dieser beiden Verbrennungsprodukte, so läßt sich daraus sehr leicht die Menge des Kohlenstoffs und Wasserstoffs, welche in der Substanz vorhanden waren, berechnen. Um die Kohlensäure in einen wägbaren Zustand überzuführen, läßt man sie von Kalilauge absorbiren. Der hierzu dienende Apparat, Fig. 266, ist aus zwei größeren Kugeln b c zusammengesetzt, welche in die drei kleinen Kugeln a führen, worin sich Kalilauge befindet. Während der Verbrennung tritt die Kohlensäure bei i in den Apparat, muß durch die Kugel c nach a abwärts steigen, wo sie zuerst in die erste, dann bei nachdringender Kohlensäure in die zweite, endlich in die dritte kleine Kugel gelangt, während die im Apparate vorfindliche Luft durch b und daraus durch das Röhrchen x entweicht. Bei der sinnreichen Einrichtung dieses Apparates, welchen wir Liebig verdanken, ist demnach die Kohlensäure gezwungen, vielseitig mit Kalilauge in Berührung zu treten und wird auf ihrem Wege vollständig absorbirt. Zur Verbrennung des organischen Körpers dient Kupferoxyd oder chromsaures Bleioxyd, welche man mit der organischen Substanz innig mengt und in eine Glasröhre o, Fig. 267, am hintern Ende einfüllt; hierauf noch eine lange Schicht des Verbrennungsmittels folgen läßt, um etwa entweichende Destillationsgase vollständig zu verbrennen und dann mit einem durchbohrten Kork b schließt, in welchem sich das Chlorcalciumrohr c eingefügt findet. Dieses Rohr enthält Chlorcalcium, von welchem wir bereits wissen, daß es Wasser mächtig anzieht, so daß der aus der Verbrennungsröhre entweichende Wasserdampf darin vollständig zurückgehalten wird und bloß die Kohlensäure nach d gelangt. Die Verbrennungsröhre liegt in einem eisernen Ofen und wird allmälig von vorn, gegen das aufgebogene Ende a vorschrei- Organische Elementaranalyse.

(Fig. 266.)



Digitized by Google

(Fig. 267.)



tend, mit glühenden Kohlen umgeben. Sobald die Verbrennung der Subſtanz beginnt, gleiten häufig Kohlenſäurebläschen in den Kugelapparat. Dieß ſetzt ſich fort, ſo lange noch Kohle unverbrannt vorhanden iſt, bis endlich kein Nachſtrömen von Kohlenſäure mehr erfolgen kann, der Reſt derſelben von der Kalilauge abſorbirt wird und dieſe in Folge deſſen in die größere der Verbrennungsröhre zugewendete Kugel aufſteigt; dann bricht man die Spitze a ab, ſaugt, durch eine halbe Minute etwa, Luft durch den Apparat, führt in ſolcher Weiſe die in der Verbrennungsröhre noch zurückgebliebene Kohlenſäure vollſtändig der Kalilauge zu und kann hierauf durch Wägung des Chlorcalciumsrohrs und Liebig'ſchen Apparates den Waſſerſtoff- und Kohlenſtoffgehalt der Subſtanz ermitteln. Enthielt dieſe auch Sauerſtoff, ſo wird dieſer aus dem Verluſte berechnet. Bei ſtickſtoffhaltigen Verbindungen aber iſt es nöthig, dieſes Element durch eine beſondere Operation zu beſtimmen. In den meiſten Fällen reicht es aus, den fraglichen Körper mit einem Gemenge von Natron und Kalkhydrat innig zu miſchen und in einer Verbrennungsröhre zu erhitzen, wobei ſämmtlicher Stickſtoff als Ammoniak entweicht, welches man in einer ähnlichen Vorrichtung, wie der Kugelapparat, mit Salzſäure zuſammentreten läßt. Es bildet ſich ſo Salmiak, deſſen Gewichtsbeſtimmung weiter keine Schwierigkeiten macht, wornach ſich leicht berechnen läßt, wie viel Stickſtoff in letzterem und ſomit in der fraglichen Subſtanz geweſen.

Conſtitution organiſcher Stoffe.

Die Unterſuchung organiſcher Körper iſt mit der Ermittlung ihres Kohlenſtoff- und Waſſerſtoffgehalts noch keineswegs abgeſchloſſen worden, indem die Analyſe nicht ausreicht, uns über die wichtige Frage bezüglich der Conſtitution, der Zuſammenſetzungsweiſe der organiſchen Körper Aufſchluß zu geben. Dieſe haben nämlich im Allgemeinen nur dann für uns Intereſſe, wenn wir den Zuſammenhang derſelben mit anderen organiſchen Stoffen zu erkennen im Stande ſind; alſo erfahren, wie ſie entſtanden ſind und welche andere Stoffe wieder aus ihnen hervorgehen können. Dieß zu ermitteln iſt eben die Aufgabe der heutigen organiſchen Chemie. Indem man die Körper verſchiedenen Einflüſſen unterwirft, die Zerſetzungen, welche ſie dabei erleiden, mit Sorgfalt ausmittelt und die neu entſtandenen Gruppen wieder zu dem urſprünglichen Körper zu vereinigen ſucht, um ſo zu dem Schluß berechtigt zu ſein, daß ſie in der fraglichen Subſtanz bereits vorgebildet gegenwärtig geweſen, ſchlagen wir zwar einen ſehr mühſamen und umſtändlichen, aber auch ſicheren Weg ein, endlich zur Erkenntniß der Conſtitution der organiſchen Körper zu gelangen. Noch iſt die Wiſſenſchaft weit von dieſem Ziele entfernt. Doch hat das erwähnte rationelle Verfahren uns ſchon jetzt

Digitized by Google

zur Erkenntniß gewisser Regelmäßigkeiten in der Zusammensetzungsweise vieler organischer Stoffe geleitet, die uns gestattet, eine beträchtliche Anzahl derselben in Gruppen von völlig gleichem chemischen Charakter zusammenzustellen, so daß die Beschreibung einer einzigen Verbindung schon ausreicht, um ein genaues Bild aller in dieselbe Reihe gehörigen Stoffe zu geben. Bei sehr vielen Substanzen ist dieses aber vorläufig noch nicht möglich. Darunter befinden sich gerade jene Körper, welche wegen ihrer großen Verbreitung in den Organismen für die chemischen Lebensvorgänge von der allergrößten Bedeutung sind und mit welchen wir uns deshalb zunächst beschäftigen wollen.

Chemische Thätigkeit in den Pflanzenzellen.

Die Untersuchung des Baues der Pflanzen hat erwiesen, daß diese aus einer Nebeneinanderlagerung höchst zahlreicher kleiner Zellen bestehen, die für sich abgeschlossen nur ausnahmsweise stellenweise geöffnet und dann zu Gängen und ähnlichen Gebilden erweitert auftreten. Innerhalb einer solchen, gleichsam für sich ein selbstständiges Ganze bildenden Zelle, herrscht während des Lebens der Pflanze meist eine rege chemische Thätigkeit. Die von außen eindringenden Stoffe schreiten vermöge der Endosmose in bestimmten Richtungen von einer Zelle zur andern, erleiden da zunächst jene Umwandlung, welche die Bildung organischer Stoffe aus den oben erwähnten Materialien zur Folge haben, und erstere verändern sich dann weiter und entwickeln sich zu einer großen Mannigfaltigkeit, welche sich schon durch die auffallende Verschiedenheit im Geruche, Geschmack, Wirkung auf den thierischen Organismus u. s. w. kund gibt. In einer uns noch völlig unklaren Weise bedingt die eigenthümliche Lebensthätigkeit der Pflanzenzellen, daß ihr Inhalt, je nach der Stellung derselben in den Pflanzen, sehr viel Verschiedenheit darzubieten vermag. In einer Zelle finden wir eine klare Flüssigkeit, die daneben liegende ist mit Stärkemehlkörnchen ausgefüllt, eine dritte enthält ein flüchtiges oder fettes Oel, eine andere Krystalle von kleesaurem Kalk und dergl. In vielen Zellen kleiden sich die Wände derselben durch eigenthümliche inkrustirende Stoffe aus, welche endlich fast vollständig den Raum im Innern in Anspruch nehmen und nur eine kleine Höhlung zurücklassen, kurz, während des Lebens der Pflanze ist die Bildung zahlreicher Stoffe in den verschiedenen Zellen beständig thätig und wir kennen noch lange nicht alle organischen Substanzen, welche in solcher Weise in den Pflanzenorganismen hervorgebracht werden.

Allgemein verbreitete Pflanzenstoffe. Kohlenhydrate.

Doch trifft man in den Pflanzen gewisse allgemein verbreitete Bestandtheile an und unter diesen eine Reihe von stickstofffreien Körpern, welche man, da sich darin Wasserstoff und Sauerstoff in dem Verhältnisse wie im Wasser vorfinden, Kohlenhydrate zu nennen pflegt. So ist die durchsichtige Zellenmembran, welche wir Cellulose nennen, nach der Formel $C_{12}H_{10}O_{10}$ zusammengesetzt. In gewissen Pflanzentheilen, wie jungen Wurzeln, Hollundermark, der Baumwolle, tritt die Cellulose nur gemengt mit löslichen Stoffen auf, die sich durch auf einander folgende Anwendung von Wasser, Weingeist, Aether, verdünnter Kalilauge und solcher Schwefelsäure entfernen lassen, während der Pflanzenzellstoff von den erwähnten Flüssigkeiten nicht verändert wird und rein zurückbleibt, ohne seine ursprüngliche Form und Textur eingebüßt zu haben. Die Cellulose bildet dann eine weiße unlösliche, lockere Masse.

Cellulose.

Stärkemehl.

Auch das in den Pflanzen so verbreitete Stärkemehl, Amylum, von gleicher Zusammensetzung mit Zellstoff, hat eine bestimmte Form, Structur, indem es aus concentrischen Schichten einer gleichartigen Substanz besteht, welche in runden, eiförmigen, linsenförmig abgeplatteten, zuweilen auch unregelmäßigen, selbst kantigen oder stabförmigen kleinen Körnern, je nach der Natur

Digitized by Google

der Pflanze, namentlich in Wurzelknollen und Samen sich aufgehäuft findet. Aus derlei Pflanzentheilen läßt sich das Stärkemehl mechanisch gewinnen, indem man selbe zerkleinert, um die Zellenwände zu zerreißen, dann mit Wasser über einem feinen Siebe oder Tuch lebhaft rührt oder knetet, wobei das Wasser, welches man unaufhörlich zuströmen läßt, die Stärkekörnchen entführt und in einem Gefäße, welches die Flüssigkeit aufnimmt, am Boden ablagert. Man erzeugt so namentlich aus Kartoffeln und Weizenmehl, welche beide sehr reich an Amylum sind, im Großen Stärkemehl. Wie sich schon aus der eben erwähnten Gewinnungsart ergibt, ist das Stärkemehl im Wasser unlöslich. Beim Erwärmen mit Wasser quillt es aber zu seinem vielfachen Volum auf und bildet eine durchscheinende, opalisirende, kleisterartige Masse. Bringt man Jodlösung mit Stärkemehl zusammen, so färbt sich letzteres augenblicklich dunkelblau, welches Verhalten benützt wird, um bei Untersuchung des Zellinhaltes der Pflanzen Stärkemehl von anderen ähnlichen Gebilden zu unterscheiden. Abgesehen von dem Vorhandensein des Stärkemehls in vielen wichtigen Nahrungsmitteln, dient dieser Körper zum Leimen des Papiers, Steifen und Appretiren der Stoffe, Verdicken der Beizen in der Zeugdruckerei, namentlich aber zur Herstellung von Zucker und Dextrin. Ersterer wird dann durch Gährung in Alkohol umgewandelt. Sago, Arrowroot und ähnliche Produkte sind nichts weiter als Stärkemehl. Eine eigenthümliche Modifikation des Stärkemehls, welche im heißen Wasser löslich ist und daraus beim Erkalten sich als ein weißes Pulver abscheidet, durch Jod gelb gefärbt wird und Inulin heißt, wird in manchen Wurzeln, wie denen von Alant, Löwenzahn, Dahlien ꝛc. angetroffen.

Gummi. Auch das vielverbreitete Gummi hat die Formel $C_{12}H_{10}O_{10}$. Gummi erscheint in den Pflanzen nur als wässrige Lösung. In einigen bildet es sich so reichlich, daß die Zellenwände bersten, die Lösung austritt, an der Luft trocknet und so unregelmäßige Massen dieses bekannten Stoffes zurückläßt. Dieses findet namentlich bei einigen Mimosen statt, deren Produkt als arabisches Gummi versendet wird. Es ist schwach geblich, durchsichtig, löst sich im Wasser zu einer dicklichen, geschmacklosen Flüssigkeit und wird als Kleb- wie Verdickungsmittel benutzt. Viele Pflanzentheile, namentlich Leinsamen, Quittenkerne, Eibischwurzel und ähnliche enthalten den sogenannten

Pflanzenschleim. Pflanzenschleim. Dieser ist eigentlich im Wasser nicht löslich, allein er quillt damit zu einer schlüpfrigen, zähen Flüssigkeit auf, welche mit der Gummilösung Aehnlichkeit hat. Der Pflanzenschleim scheint in der That Gummi zu sein, dessen Eigenschaften durch immer darin reichlich vorkommenden phosphorsauren Kalk modificirt sind. Seine Zusammensetzung entspricht ebenfalls der Formel $C_{12}H_{10}O_{10}$. Erhitzt man Stärkemehl auf etwa 200°, so verändert es kaum seine Gestalt und Textur, ist nun aber im Wasser löslich geworden. Das Stärkemehl geht nämlich unter diesen Umständen in einen

Dextrin. dem Gummi sehr ähnlichen Körper, das Dextrin, über, welches ebenfalls mit Wasser eine dickflüssige Lösung bildet, deren Verdampfung das Dextrin als eine durchsichtige, gummiähnliche Masse zurückläßt. Uebrigens wird Dextrin als ein sehr verbreiteter Bestandtheil der Pflanzen natürlich gebildet angetroffen. Man benutzt das Dextrin als ein wohlfeiles Ersatzmittel für Gummi und bereitet es im Großen aus Stärkemehl. Die Umwandlungsfähigkeit des Stärkemehls bleibt bei der Bildung des Dextrins nicht stehen. Man

Traubenzucker. kann aus beiden auch Zucker erzeugen und zwar jene Zuckerart, welche als Traubenzucker, Krümmelzucker, in den Pflanzen sehr verbreitet ist und

Digitized by Google

namentlich den süßen Geschmack der Früchte bedingt. Unter Zucker im engeren Sinne versteht man jedoch nur solche Verbindungen, welchen neben dem süßen Geschmack auch die Fähigkeit zukommt, in wässriger Lösung auf Zusatz von Hefe in weingeistige Gährung überzugehen. Man unterscheidet mehrere Arten Zucker: der Traubenzucker findet sich auch im Honig, tritt im Blute des Menschen als normaler Bestandtheil auf und wird bei der sogenannten Harnruhr durch einen abnormen Umsetzungsprozeß im Organismus so reichlich erzeugt und durch die Nieren abgeschieden, daß sich in dem Harne der Kranken reichlich davon findet. Bei der Umwandlung des Stärkemehls und Dextrins in Traubenzucker, welche wahrscheinlich auch in den Pflanzen sehr häufig eintritt, bedient man sich der Fähigkeit verdünnter Mineralsäuren, beim Erwärmen mit den genannten Stoffen, diese in Traubenzucker überzuführen, ohne daß die Säuren eine Veränderung erleiden oder eine Verbindung damit eingehen. Die nächste Ursache dieser Zuckerbildung ist uns völlig unbekannt. Unten bei der Gährung wollen wir noch eine interessante Modalität der Umwandlung des Stärkemehls in Traubenzucker näher besprechen. Der Traubenzucker löst sich leicht im Wasser, hat einen süßen Geschmack und krystallisirt aus der wässrigen Lösung in kleinen, blumenkohlartig gruppirten Blättchen, deren Zusammensetzung die Formel: $C_{12}H_{12}O_{12} + 2Aq$ ausdrückt. Bei 100^0 wird schon das Krystallwasser ausgetrieben, wobei der Zucker schmilzt. Die Vergleichung der Formeln zeigt, daß Stärkemehl, Gummi und Dextrin durch Aufnahme von 2 Atomen Wasser in Traubenzucker übergehen. Eine ganz gleiche Zusammensetzung zeigt der nicht krystallisirbare Schleimzucker, den man im Honig, in Pflanzensäften antrifft, und der auch beim Erwärmen von Rohr- oder Traubenzucker mit verdünnten Säuren aus diesen entsteht und sich selben beimengt. Die wichtigste Zuckerart ist unstreitig der Rohrzucker, $C_{12}H_{11}O_{11}$, der im Safte vieler Pflanzen vorkommt, künstlich aber aus anderen Kohlenhydraten nicht dargestellt werden kann. Rohrzucker ist im Wasser sehr reichlich löslich. Er bildet damit eine farblose syrupdicke Flüssigkeit, aus welchem der Zucker in großen, farblosen, deutlichen Krystallen erhalten werden kann. Bei 160^0 schmilzt der Rohrzucker und erstarrt hierauf zu einer glasigen, spröden, amorphen Masse (Gerstenzucker), welche nach einiger Zeit in ein undurchsichtiges Aggregat kleiner Zuckerkrystalle übergeht. Die vielseitige Verwendung des Rohrzuckers ist bekannt. Man gewinnt ihn aus dem Zuckerrohr, der Runkelrübe und in geringerer Menge aus dem Safte mehrerer Ahorngattungen.

Schleimzucker.

Rohrzucker.

Die Darstellung desselben ist im Ganzen ein einfacher Prozeß, indem der zuckerreiche Saft des Rohrs und der Rübe durch Auspressen gewonnen und hierauf die Flüssigkeit durch Eindampfen so weit concentrirt wird, daß sie beim Erkalten Zuckerkrystalle absetzen muß. Da aber der Zucker, in concentrirter Lösung längere Zeit gekocht, zum Theil in Schleimzucker übergeht und diese Umwandlung durch die Gegenwart anderer organischer Stoffe in dem Pflanzensaft namhaft befördert und gesteigert wird, so arbeitet man bei der Rohrzuckererzeugung möglichst darauf hin, dieselbe zu beschleunigen und die übrigen Bestandtheile des Zuckersaftes rasch zu entfernen. Ein Theil der letzteren geht schon beim Kochen in den unlöslichen Zustand über und bildet eine Schaumdecke, welche durch Abschöpfen und Filtriren beseitigt wird, wobei übrigens dunkelgefärbte Substanzen entstehen, welche man nach weiterem Eindampfen durch Filtriren über grob gekörnte Knochenkohle beseitigt; dann wird möglichst rasch, zur völligen Concentration der Lösung eingedampft.

Gewinnung des Rohrzuckers.

Digitized by Google

Man bedient sich dabei fast allgemein der sogenannten Vacuumpfannen, welche mit gespanntem Wasserdampf beheizt und mit einem gewölbten Deckel versehen sind, aus welchem ein Rohr die Wasserdämpfe fortleitet. Die Pfanne ist nun durch dieses Rohr mit einer Luftpumpe oder mit einer anderen entsprechenden Vorrichtung in Verbindung gesetzt, welche in der Pfanne beständig einen luftverdünnten Raum erzeugt und somit die Verdampfung nicht nur beschleunigt, sondern auch bei einer niedrigern Temperatur veranlaßt und dadurch die reichliche Bildung von Schleimzucker hindert. Die hinreichend concentrirte Lösung gelangt dann nach vorhergehendem entsprechenden Abkühlen in die Hutformen, wo sie unter zeitweiligem Umrühren zu einer feinkörnigen krystallinischen Masse erstarrt, welche die schleimzuckerhaltige bräunlich gefärbte Mutterlauge umschließt. Diese läßt man später abtropfen und verdrängt sie schließlich mittelst reiner Zuckerlösung, welche man durchsickern läßt. In den Zuckerraffinerien wird unreiner Colonialzucker durch Auflösen und Umkrystallisiren, nach einem ganz ähnlichen Verfahren, in Raffinat umgewandelt.

Außer den erwähnten Zuckerarten trifft man in gewissen Pflanzen noch andere süßschmeckende krystallisirbare Stoffe, welche nach ihrer Zusammensetzung ebenfalls zu den Kohlenhydraten gehören, aber nicht gährungsfähig sind. Während der Traubenzucker sich sowohl im Thierreiche wie in den Pflanzen findet, kennt man noch eine wahre gährungsfähige Zuckerart, die bis jetzt nur in Thieren angetroffen wurde. Es ist dieß der Milchzucker, der, wie schon der Name andeutet, in der Milch der Säugethiere, aber auch im bebrüteten Hühnerei und anderen thierischen Flüssigkeiten auftritt. Er hat einen viel schwächeren süßen Geschmack, als Rohr- und Traubenzucker, löst sich auch schwieriger im Wasser und krystallisirt daraus in weißen, harten Prismen. Seine Formel ist: $C_{12}H_{12}O_{12}$ und durch Erwärmen mit verdünnter Schwefelsäure geht er ungemein leicht in Traubenzucker über.

Milchzucker.

In der Manna, welche durch Austrocknen des Saftes der Eschen in Süditalien gewonnen wird, findet sich neben Zucker ein anderer süßschmeckender krystallisirbarer Körper, der Mannit, welcher auch bei gewissen Gährungen von Pflanzensäften, wie es scheint aus Zucker, entsteht. Reiner Mannit bildet feine farblose, seidenglänzende Nadeln. Er enthält mehr Wasserstoff, als den Kohlenhydraten entspricht und hat die Formel: $C_{12}H_{14}O_{12}$. Werden die Kohlenhydrate mit mäßig concentrirter Salpetersäure gekocht, so liefern sie Oxalsäure, Sauerkleesäure, mit Ausnahme des Gummis und Milchzuckers, welche dabei zur Bildung von Schleimsäure Veranlassung geben. Die Oxalsäure gehört zu den einfachst zusammengesetzten organischen Stoffen und entsteht deßhalb in sehr mannigfaltiger Weise. Wie der Name schon andeutet, trifft man sie und zwar an Kali gebunden als saures Salz im Sauerklee, Sauerampfer und anderen Pflanzen. Auch in den Thierkörpern findet sie sich hie und da. Sie läßt sich als eine Oxydationsstufe des Kohlenstoffs betrachten. Ihre Formel als Hydrat ist: C_2O_3, HO. Aus Wasser, worin sie sich leicht löst, krystallisirt sie mit 2 Atomen Krystallwasser. Sie schmilzt in der Hitze und verflüchtigt sich zum Theil unverändert. Mit den Basen liefert sie neutrale und saure Salze.

Mannit.

Oxalsäure.

Wenn man Kohlenhydrate mit ganz concentrirtem Salpetersäurehydrat oder einem Gemenge desselben mit Schwefelsäure zusammenbringt, so gibt die Salpetersäure an einen Theil des Wasserstoffs in der organischen Substanz Sauerstoff ab, bildet so Wasser, welches aus der Verbindung austritt, während die andererseits hervorgebrachte Untersalpetersäure nicht etwa frei wird,

Nitrokörper.

Digitized by Google

sondern geradezu an die Stelle des ausgeschiedenen Wasserstoffs in die Verbindung eingeht, so daß hier die Untersalpetersäure eine ähnliche Rolle übernimmt, wie so häufig das Chlor und Brom, indem sie den Wasserstoff substituirt. Solche untersalpetersäurehaltige Substitutionsprodukte, welche sich auch mit vielen anderen organischen Substanzen erzeugen lassen, werden im Allgemeinen Nitrokörper genannt und sind meistens explodirbar. Die vielbesprochene Schießbaumwolle ist eine solche Nitroverbindung, in welcher der Wasserstoff der Cellulose bis zu 3 Atomen durch Untersalpetersäure ersetzt ist. Auch mit Mannit läßt sich ein ähnlicher Körper erhalten, sowie mit Rohrzucker u. s. w. Von der Schießbaumwolle ist bekannt, daß sie ihre Textur bei dieser Substitution nicht verändert, was uns andeutet, wie durch diesen Vorgang die eigentliche Anordnung der Atome keine Veränderung erlitten habe. Dieß wird noch deutlicher, wenn, wie auch in Wirklichkeit gelungen, man die Untersalpetersäure wieder aus der Gruppe herausholen und den Wasserstoff neuerdings an deren Stelle setzen kann, ohne daß die Gestaltung des Stoffes sich dabei veränderte.

Schießbaumwolle.

Die Erkenntniß der Substitutionserscheinungen überhaupt hat die Feststellung der Constitution vieler Körper ermöglicht, indem die Fähigkeit des Wasserstoffs, durch einfache oder zusammengesetzte Radikale in einer Gruppe sich ganz oder theilweise substituiren zu lassen, uns in vielen Fällen Aufklärung über die Entstehung und Zusammensetzung organischer Stoffe bietet, so daß wir ganze Reihen derselben als einfache Substitutionsprodukte einer und derselben Substanz erkannt haben, wo je nach der Natur des substituirenden Körpers verschiedene Eigenschaften zum Vorschein kommen, ohne daß jedoch dabei der wesentliche Grundcharakter der Stammverbindung eine namhafte Abänderung erlitte. Wir kennen zahlreiche natürliche organische Verbindungen, welche sich deuten lassen als Zucker, dessen Wasserstoff zum Theil durch andere organische Gruppen ersetzt ist und nennen diese Substanzen Glucoside. Bei Behandlung mit verdünnten Säuren oder anderen Agentien tritt dann sehr häufig eine Spaltung ein, bei welcher das Wasser vermittelt, indem es dem Zucker den Wasserstoff zurückgibt, während der Sauerstoff zu der zweiten Gruppe tritt, deren Oxyd sich dann neben dem Zucker findet.

Glucoside.

Körper von solcher Beschaffenheit sind das Salicin, eine in den Weidenrinden und Pappeln sich vorfindende krystallisirbare Substanz, der Schillerstoff (Aesculin) aus der Rinde der Roßkastanie, das Phloridzin, welches sich in der Wurzelrinde der Apfelbäume findet, die Gerbstoffe und viele andere.

Wenn wir schon trotz der Massenhaftigkeit des Vorkommens und der damit gegebenen Erleichterung der Untersuchung bis jetzt die Constitution der Kohlenhydrate und verwandter Stoffe nicht feststellen konnten, so ist unsere dießfällige Kenntniß über die sogenannten eiweißartigen Körper noch viel mangelhafter, obwohl auch diese uns reichlich zu Gebote stehen. Sie kommen in den Pflanzen spärlicher vor, charakterisiren aber die höheren Thiere, deren Hauptmasse daraus besteht, während gewisse Kohlenhydrate wohl auch darin auftreten, aber ihrer Menge nach meist fast verschwindend sind. Die Eiweißstoffe (nach einer längst widerlegten Hypothese, welche in ihnen einen gemeinschaftlichen Grundstoff, das Protein, annahm, auch zuweilen Proteinsubstanzen genannt) enthalten neben Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, auch Stickstoff, und zudem noch unoxydirten Schwefel, vielleicht auch Phosphor. Sie sind nicht krystallisirbar, ohne Geruch und Geschmack, farblos, treten

Albuminoide.

Digitized by Google

immer mit zahlreichen Salzen, namentlich phosphorsaurem Kalk, Chlornatrium, zuweilen selbst Natronhydrat, verbunden oder gemengt auf und lassen sich gewöhnlich in zwei Modificationen oder Zuständen erhalten, nämlich löslich und coagulirt, geronnen, wo sie im Wasser unlöslich sind. Je genauer man diese für die chemischen Lebensvorgänge in den thierischen Organismen so wichtige Substanzen auf ihr Verhalten und ihre Eigenschaften prüfte, um so verwischter und unklarer wurde ihr Charakter, so daß jeder Name derselben vielleicht einer großen Reihe von Verbindungen gegeben wurde oder vielleicht umgekehrt die beobachteten Unterschiede nur auf gewissen Beimengungen beruhen. Manche dieser Körper finden sich ausschließlich im Thierreiche, andere gleichzeitig in den Pflanzen. Unter Letzteren ist der Eiweißstoff, das Albumin, am verbreitetsten. Man trifft es, wie schon der Name andeutet, im Eiweiß der Vogeleier, in den meisten thierischen Flüssigkeiten, sowie Pflanzensäften. Die charakteristische Eigenschaft des Albumins ist seine Coagulirbarkeit durch Wärme. Wird eine Lösung desselben auf 63° und darüber erhitzt, so scheidet sich der Eiweißstoff in weißen Flocken ab, die sich nun im Wasser nicht mehr lösen. Auch die meisten Säuren bedingen einen solchen Uebergang und fällen coagulirtes Albumin aus seiner Lösung. Lösliches Albumin ist eine blaßgelbe, geruch- und geschmacklose, durchscheinende Masse. Mit Wasser bildet es eine schleimige Flüssigkeit. Wenn ein albuminhaltiger Pflanzensaft, in welchem sich starre Körperchen suspendirt vorfinden, zum Kochen erhitzt wird, wobei sich das Albumin unlöslich abscheidet, so schließt es dabei die suspendirten Theilchen ein und die Flüssigkeit wird klar. Auf dieser Eigenschaft beruht das Klären durch Eiweiß. In den Getreidesamen findet sich neben Stärkemehl, Dextrin, Cellulose, unorganischen Salzen mehr oder weniger reichlich ein Stoff, welcher die meisten Eigenschaften mit dem coagulirten Albumin gemein hat und daneben noch ein anderer, sehr klebriger, im Weingeist löslicher Stoff, die beide den sogenannten Kleber bilden, indem sie zusammen, mit Wasser angefeuchtet, eine zähe klebende Masse vorstellen, deren Beschaffenheit auch sich in dem mit Getreidemehl angefertigten Teige kund gibt. In den Samen der Hülsenfrüchte trifft man neben Stärkemehl und Cellulose, sowie anderen Substanzen einen Körper, welcher Legumin genannt wird und mit dem ausschließlich in den Thieren auftretenden Käsestoff sehr große Aehnlichkeit zeigt. In seiner Zusammensetzung erinnert er an Albumin, die wässerige Lösung desselben wird durch Kochen nicht coagulirt, dagegen geht das Legumin auf Zusatz von Säure wie der Käsestoff in den unlöslichen Zustand über. Das Casein (Käsestoff) ist einer der Hauptbestandtheile der Milch aller Säugethiere, worin es gelöst auftritt, und zwar mit Natron verbunden. Auf Zusatz von Säuren scheidet es sich in weißen Flocken ab. Die Löslichkeit kann durch Hinzubringen von Natron wieder hergestellt werden. Beim Kochen gerinnt gelöster Käsestoff nicht, allein, was für selben charakteristisch ist, es bildet sich auf der Oberfläche der Flüssigkeit eine farblose Haut. Legumin wie Casein werden in einen unlöslichen coagulirten Zustand übergeführt, wenn man sie mit der Schleimhaut des Labmagens der Wiederkäuer in Berührung bringt. Das Fibrin und die leimgebenden Gewebe, welche in der Pflanzenwelt durchaus nicht angetroffen werden, wollen wir später bei Schilderung der chemischen Lebensvorgänge im Menschen besprechen.

Eiweißstoff.

Legumin und Käsestoff.

Fäulniß.

Alle hieher gehörige Substanzen zeichnen sich durch eine große Zerlegbarkeit aus, welche sich namentlich insofern kund gibt, als sie bei Gegenwart von Wasser scheinbar von selbst in kurzer Zeit durchgreifende Zersetzungen

Digitized by Google

erleiden, wobei indeß der erste Anstoß immer von dem Sauerstoff der Luft gegeben ist, welcher eine Oxydation einleitet, die sich zunächst auf Bildung von Wasser beschränkt, indem Wasserstoff aus der Verbindung an Sauerstoff tritt. In dieser Weise wird gleichsam das Gleichgewicht in der so complexen Atomengruppe der Proteinstoffe gestört und es erfolgt dann, falls die Temperatur nicht zu niedrig oder im Gegentheile zu hoch ist, unaufhaltsam eine Umlegung der Bestandtheile in einfachere Verbindungen, unter denen Kohlensäure, Wasser, Kohlenwasserstoffe, kohlensaures Ammoniumoxyd, Schwefelammonium und zahlreiche andere lösliche und unlösliche Verbindungen, von welchen die meisten uns noch unbekannt sind, zum Vorschein kommen. Einige derselben verbreiten einen sehr üblen Geruch. Diesen Vorgang, wenn er durch Sauerstoff wohl angeregt, sich jedoch ohne Vermittlung des Letzteren fortsetzt, nennen wir *Fäulniß*, deren Endresultat ein Gemenge kohlenstoffreicher, dunkelgefärbter Substanzen ist. Wenn aber bei derlei Zersetzungen der Sauerstoff ungehindert Zutritt findet, so nimmt er beständig an der Bildung der neuen Zerlegungsprodukte Antheil, so daß endlich eine zwar langsame, aber durchgreifende Oxydation in Gang gebracht wird, die damit endigt, daß sämmtlicher Kohlenstoff in Kohlensäure, der Wasserstoff in Wasser und zum Theil mit dem vorhandenen Stickstoff in Ammoniak, letzteres endlich in Salpetersäure übergeht und *schließlich sämmtliche Bestandtheile der Verbindung in Form von einfachen Substanzen, aus welchen die Pflanze ihre Stoffe neu bildet, in die Atmosphäre wieder zurückkehren*. Man nennt diesen Vorgang *Verwesung* oder, falls er bei spärlichem Luftzutritt sehr langsam stattfindet, *Vermoderung*. Der sogenannte *Humus*, ein Gemenge verschiedener brauner Körper, ist das Produkt der im Boden anwesenden organischen Stoffe und da er unausgesetzt die erwähnte Oxydation erleidet und somit Kohlensäure abgibt, so erklärt sich daraus, nach dem oben über die Entwicklung der Pflanzen Mitgetheilten, die Fruchtbarkeit humusreicher Bodenarten. Es ist eine Eigenthümlichkeit dieser und ähnlicher Umsetzungsvorgänge complicirter organischer Substanzen, daß diese sich auch auf andere Körper übertragen und diese gleichsam in den Kreis ihrer Umwandlungen hineinziehen, wenn die sich zersetzenden Stoffe damit in Berührung kommen. Die Cellulose der Pflanze z. B. für sich, rein abgeschieden, an der Luft ganz unveränderlich, verfällt der Fäulniß oder Verwesung, wenn die in der Pflanze vorfindlichen Proteinstoffe derselben unterliegen. Ein Stück faulendes Obst kann viele andere disponiren, ebenfalls zu faulen, welche unverändert geblieben wären, falls man ersteres rechtzeitig beseitigte. Miasmen sind nichts weiter, als in gewissen Zersetzungen begriffene organische Stoffe, welche im Organismus entsprechende Umlegungen hervorrufen, dadurch die normalen chemischen Lebensvorgänge stören und somit Krankheiten erzeugen.

Verwesung.

Gährung.

Wir erklären uns diese merkwürdige Wirkung in Umlegung begriffener Substanzen auf andere durch die wohl begründete Annahme, daß bei der chemischen Zersetzung die Atome, aus ihrer Ruhelage gebracht, in Bewegung gerathen und diese Bewegung dann auch auf andere Körper übertragen können. Der erwähnte Erfolg des Contactes ist also hier auf eine Mittheilung der chemischen Bewegung zurückführbar. Man bemerkt dergleichen auch in manchen viel einfacheren Fällen. Platin wird bekanntlich durch Salpetersäure nicht angegriffen. Wenn wir es aber mit Silber legiren und dann mit Salpetersäure erwärmen, so oxydirt sich nicht nur das Silber, sondern auch

Digitized by Google

das Platin, welches durch den Oxydationsprozeß des Silbers bestimmt wurde, in ähnlichem Sinne eine chemische Verbindung einzugehen.

Es gibt nun zahlreiche Zersetzungsvorgänge, welche mit der Fäulniß und Verwesung große Aehnlichkeit zeigen, von diesen aber sich dadurch wesentlich unterscheiden, daß sie in Berührung mit gewissen Stoffen hervorgerufen, bei diesen einfache Zerlegung in neue Körper veranlassen oder eine Umlagerung der Atome bedingen, ohne daß die neu entstandenen Produkte mit denen des Zersetzungsprozesses der ersten Substanz in eine nachweisbare Wechselwirkung treten würden. Es ist dieß offenbar auch die Folge der eben erörterten Mittheilung der chemischen Bewegung und wir nennen sie in diesem Falle Gährung. Jener Körper aber, dessen Zersetzung bei dem zweiten die Gährungserscheinungen hervorruft, heißt Ferment. Jede Art von Gährung bedarf eines entsprechenden Fermentes und von diesem auch eine bestimmte Menge, was uns beweist, daß, obwohl die Umlagerungsprodukte des Fermentes mit jenen des Gährungsmaterials keinerlei Verbindungen eingehen, dennoch die Contactwirkung nach bestimmten quantitativen Verhältnissen vor sich geht. Früher war von den hieher gehörigen Phänomenen fast nur die weingeistige Gährung bekannt, durch welche der Zucker in Kohlensäure und Alkohol zerlegt wird. Die Erweiterung unserer Kenntnisse der organischen Verbindungen hat uns mit einer größeren Anzahl von Gährungsprozessen bekannt gemacht, deren Reihe noch keineswegs abgeschlossen ist. Eine der interessanteren hieher gehörigen Erscheinungen ist die Gährung des Amygdalins. Dieser Körper findet sich in den bittern Mandeln und kann durch Behandlung derselben mit Weingeist ausgezogen werden. Er krystallisirt in farblosen kleinen Blättchen, ist im Wasser leicht löslich und nicht giftig. In den süßen und bittern Mandeln findet sich auch ein in Weingeist unlöslicher und stickstoffhaltiger Körper, welcher übrigens in völlig reinem Zustande noch nicht dargestellt wurde und den Namen Emulsin, Synaptase erhielt. Wird eine wässerige Lösung der beiden Körper zusammengebracht, so zerfällt das Amygdalin unter Vermittlung von Wasser augenblicklich in Bittermandelöl, Blausäure und Traubenzucker: $C_{10}H_{27}NO_{22} + 4HO = C_{11}H_6O_2 + C_2NH + 2(C_{12}H_{12}O_{12})$. Hier wirkt also das Emulsin, welches an der Luft augenblicklich sich zu zersetzen beginnt, als Ferment auf das Amygdalin, welches in den trocknen Mandeln sich in der Nachbarschaft des Emulsins ganz unverändert erhält.

Ferment.

Amygdalin.

Von hohem Interesse sowohl für den Keimungsprozeß der Getreidesamen, als auch für die künstliche Erzeugung von Zucker aus Stärkemehl ist die Wirkung der Diastase. Letztere entsteht beim Keimen der Getreidesamen und besitzt die Fähigkeit, das Stärkemehl zunächst in Dextrin und weiter in Zucker umzuwandeln, was auch in den sich entwickelnden Samen stattfindet, wodurch das darin aufgespeicherte Stärkemehl in einer löslichen Form als Material zur Entwicklung der Pflanze zubereitet wird. Gleich dem Emulsin ist die Diastase noch sehr unvollständig gekannt, doch wissen wir mit Bestimmtheit, daß selbe bei einer Temperatur von 60—70° noch weit mehr Stärkemehl in Zucker umzuwandeln vermag, als in dem Getreidekorn selbst sich vorfindet, und man benutzt diese Fähigkeit im umfassendsten Maße bei der Bereitung des Biers und Branntweins. Ueber 75° hinaus erhitzt wird Diastase unwirksam.

Zuckergährung.

Das Malz, welches bekanntlich vorzüglich aus Gerste hergestellt wird, enthält durch einen künstlich eingeleiteten Keimungsprozeß entstandene Diastase neben Stärkemehl und den anderen Bestandtheilen des Samens. Um es

Malz.

Digitized by Google

herzustellen, quellt man zunächst die Gerste in Wasser ein, um ihr die nöthige Feuchtigkeit zuzuführen, breitet sie hierauf auf der Malztenne, einem mit Steinplatten ausgelegten gewölbten Gemache in einer dünnen Schichte aus, bildet dann größere Haufen daraus und regelt dadurch, sowie verschiedene andere Kunstgriffe, den Keimungsprozeß, der sich bald einstellt, bis die Würzelchen der jungen Pflanze etwa doppelt so lang, als das Korn geworden. Dann unterbricht man das Keimen, indem man das grüne Malz entweder an der Luft oder auf Darren trocknet.

Alkoholische Gährung. Hefe.

Um aus Zucker Weingeist zu bilden, muß der wässerigen Lösung des ersteren als Ferment Hefe zugesetzt werden. Diese ist eine Pflanze von niederer Organisation, aus einzelnen Zellen bestehend, bildet sich aus den stickstoffhaltigen Bestandtheilen, welche im Traubensafte vorkommen, bei Luftzutritt und bedingt dann während ihres Lebensprozesses die gleichzeitige Umlegung des Traubenzuckers in Kohlensäure und Alkohol: $C_{12}H_{12}O_{12} = 2C_4H_6O_2 + 4CO_2$. So lange die Gährung des Zuckers andauert, bilden sich beständig neue Hefenzellen, bis entweder die Eiweißstoffe des Traubensaftes oder der Zucker völlig verschwunden sind; die Hefenzellen lagern sich unter der Flüssigkeit ab und können, mit neuer Zuckerlösung zusammengebracht, auch in dieser wieder die Gährung hervorrufen. Sind nun in der neuen Zuckerlösung ebenfalls eiweißartige Körper vorhanden, so liefern diese wieder das Material zur Bildung neuer wirksamer Hefe. Im Gegentheile aber sterben die alten Hefenzellen ab, und ihre Fähigkeit, als Ferment zu wirken, geht verloren. Bringt man Hefe und Zuckerlösung bei etwa 6—8° zusammen, so verläuft die Gährung langsam und die Hefe sammelt sich hauptsächlich unter der Flüssigkeit an, Unterhefe. Solche Hefe erregt nun auch in einer folgenden Zuckerlösung wieder die langsame sogenannte Untergährung. In höherer Temperatur, zwischen 15 und 25° etwa, ist die Gährung viel lebhafter, die Hefe häuft sich auf der Oberfläche der gewonnenen Flüssigkeit an und bildet die sogenannte Oberhefe. Abgesehen von der Weinbereitung, basirt die Bier- und Branntweinerzeugung auf der Zucker- und weingeistigen Gährung.

Bier.

Das Bier ist eine mit bittern Extractionsstoffen des Hopfens gewürzte, mit Kohlensäure gesättigte wässerige Lösung von Dextrin und Weingeist. Man bereitet das Bier aus Malz, welches, zu Schrot zerkleinert, mit warmem Wasser angerührt wird, wobei sich die oben erörterte Wirkung der Diastase einstellt und das Stärkemehl in Dextrin und Zucker übergeht. Man nennt diese Operation das Maischen und nimmt sie in großen mit Seiheboden versehenen Bottichen, den Maischbottichen, vor. Da, wie bemerkt, Dextrin ein wesentlicher Bestandtheil des Bieres ist, so sorgt man durch theilweises Erhitzen des Gemenges bis zum Kochen, daß die Diastase nicht zur vollen Wirksamkeit gelangen und das Stärkemehl vollständig in Zucker überführen kann. Hierauf seiht man die Flüssigkeit ab, welche nun Würze heißt, bringt sie in der Braupfanne zum Sieden und setzt den Hopfen zu; dann muß die Flüssigkeit in flachen Gefäßen rasch abgekühlt werden, wornach man sie mit der von einem früheren Verfahren herrührenden Hefe versetzt und der Gährung überläßt. Der eigentlichen Hauptgährung folgt immer eine Nachgährung, bei welcher die letzten Antheile von Zucker zersetzt werden und welche dem Biere den so wesentlichen Kohlensäuregehalt erhält. Man pflegt daher bei den sogenannten Lagerbieren durch kühle Keller diese Nachgährung so lange als möglich hinauszudehnen. In den gewöhnlichen Biersorten finden sich 5—6% Dextrin, 3—4% Weingeist und 0,2% Kohlensäure.

Digitized by Google

Branntwein. Bekanntlich wird eine große Quantität stärkemehlhaltiger Materialien zur Herstellung von wasserhaltigem Weingeist (Branntwein, Spiritus) verwendet. Das Hauptmaterial ist auch hier wieder die Diastase des Malzes, welche man übrigens im Gegensatze zur Biererzeugung möglichst vollständig auszunützen sucht, indem man dem Malze noch Getreide-Schrot oder Kartoffeln in der entsprechenden Menge zusetzt, um auch das Stärkemehl der Letzteren in Traubenzucker umzuwandeln. Das Malzschrot wird daher mit den genannten Materialien und warmem Wasser bei höchstens 70° in Wechselwirkung gelassen, bis die Zuckerbildung vollendet ist, wornach man auskühlen läßt, die Hefe zusetzt und damit die Gährung einleitet. Die gegohrene, weingare Maische wird schließlich der Destillation unterworfen, um den flüchtigen Weingeist von den übrigen in Wasser gelösten Substanzen abzutrennen. Die Apparate, deren man sich dabei bedient, sind meist ziemlich complicirt und bezwecken, mit einer Operation sogleich einen Weingeist von etwa 70% zu gewinnen, welcher dann auch das Material vorstellt, um sich daraus völlig reinen wasserfreien (absoluten) Alkohol zu verschaffen. Letzterer siedet bei 78°, er läßt sich aber durch wiederholte sorgfältige Destillation allein von dem beigemengten Wasser nicht trennen, da beständig den Dämpfen des Alkohols sich Wasserdämpfe beimengen. Wenn man aber schließlich entwässernde Substanzen, wie Aetzkalk oder Chlorcalcium mit dem alkoholreichen Produkte zusammenbringt und dann neuerdings destillirt, so erhält man endlich den Weingeist wasserfrei.

Alkohol. Reiner wasserfreier Alkohol ist wasserhell, sehr beweglich, schmeckt brennend, riecht eigenthümlich angenehm, hat ein spec. Gew. von 0,792, erstarrt nicht in der Kälte und verbrennt leicht mit wenig leuchtender Flamme. An der Luft zieht der Weingeist Feuchtigkeit an und wird wasserhaltig. Er mischt sich überhaupt mit Wasser in allen Verhältnissen. Wasserfreier Alkohol ist giftig. Die Wirkungen des mit Wasser gemengten auf den Organismus sind bekannt. Abgesehen von den großen Massen Weingeist, welche in Form von Getränken verbraucht werden, dient der Alkohol auch vielseitig als Lösungsmittel, sowohl in den Laboratorien, wie für technische Zwecke, ferner als Material der Essigbereitung u. s. w.

Im Alkohol finden wir den Repräsentanten einer ganzen großen Gruppe von chemischen Verbindungen, die unter sich hinsichtlich ihres chemischen Charakters, der Zusammensetzung und Entstehung ihrer Zersetzungsprodukte und so fort die vollkommenste Analogie darbieten, so daß der Name Alkohol jetzt als Gattungsname angewendet wird und der eben besprochene Weingeist als Weinalkohol von den übrigen zu unterscheiden ist. Die Zusammensetzung des Weinalkohols wird durch die Formel: $C_4H_6O_2$ wiedergegeben. Seine verschiedenen Umwandlungen beweisen uns, daß in demselben sich ein zusammengesetztes Radikal von der Formel: C_4H_5 befindet, welches den Namen Aethyl erhalten hat und im Weingeist als Oxydhydrat vorhanden angenommen wird, so daß nach dieser Voraussetzung die rationelle Formel des Weingeistes: C_4H_5O, HO ist.

Aethyloxyd. Das Aethyloxyd ist gleich dem Weingeiste, aus welchem es stammt, ein Vorbild für eine ganze Reihe ähnlich constituirter Körper. Betrachten wir zunächst seinen chemischen Charakter, so stellt sich heraus, daß dieses Oxyd mit den Säuren Verbindungen eingeht, die in ihrer Zusammensetzungsweise völlig an die Salze der unorganischen Basen erinnern. Man erhält sie in der Regel durch Erwärmen der betreffenden Säurehydrate mit Alkohol

Digitized by Google

oder diesen gemengt mit Schwefelsäure. Die äußeren Eigenschaften dieser Aethyloxydsalze, welche man auch häufig zusammengesetzte Aether nennt, sind aber von denen der gewöhnlichen Salze wesentlich verschieden. Sie bilden meistens Flüssigkeiten von angenehm aromatischem, ziemlich starkem Geruch, die sich in der Regel unverändert verflüchtigen, im Wasser schwer lösen, mit Weingeist und Aether aber in allen Verhältnissen mischen lassen. Versucht man mittelst Behandlung mit einem gewöhnlichen Sauerstoffsalze durch Doppelzersetzung neue Aethersalze zu erzeugen, so stellt sich heraus, daß in den letzteren die Säure viel inniger gebunden ist, als in den ersteren, denn es findet kein Austausch der Bestandtheile statt. Nur in seltenen Fällen gelingt es, das Aethyloxyd unmittelbar mit der Säure zu vereinigen; gewöhnlich muß das Salz durch Einwirkung der Säure auf das Hydrat des Aethyloxyds hervorgebracht werden. Alle Aethyloxydsalze, welche in ihrer Zusammensetzung dem Typus der neutralen Salze entsprechen, sind auch vollkommen neutral und keine derlei Verbindung des Aethers enthält Wasser. Obwohl das Aethyloxyd eine schwache Base ist, so widerstehen seine Salze der Einwirkung der kräftigsten Basen, wie Kali oder Natron, bedeutend, denn nur durch längeres Kochen mit concentrirteren Lösungen desselben wird allmälig das Aethyloxyd ausgeschieden, wobei es aber immer, gleich vielen unorganischen Oxyden, Wasser bindet und sich als Hydrat (Alkohol) verflüchtigt. Aus diesen Andeutungen ergibt sich, daß einerseits wohl eine große Aehnlichkeit des Aethyloxyds mit unorganischen Basen vorhanden, daß jenes namentlich gleich den Letzteren die Säuren vollkommen zu sättigen im Stande ist, daß sich aber andererseits, besonders in Bezug auf die äußeren Eigenschaften, bedeutende Unterschiede bemerklich machen.

Unverbundenes Aethyloxyd entsteht aus dem Alkohol beim Erwärmen desselben mit Chlorzink, Zinnchlorid und anderen Substanzen, namentlich aber durch Erhitzen der bald zu beschreibenden Aetherschwefelsäure, wobei es sich mit Wasser gemengt verflüchtigt und von letzterem durch Destillation über gebranntem Kalk oder Chlorcalcium befreit werden kann. Die Verbindung wird häufig auch Aether oder Schwefeläther genannt. Sie ist farblos, sehr beweglich, hat ein spec. Gew. von 0,73, erstarrt bei -44^0 zu einer weißen blättrig krystallinischen Masse, siedet bei $+35^0$, entzündet sich leicht und besitzt einen durchdringenden eigenthümlichen Geruch. 10 Theile Wasser lösen 1 Theil Aether auf. Weingeist läßt sich in allen Verhältnissen damit mischen. Viele unorganische Sauerstoff- und Haloidsalze und andere Körper sind darin völlig unlöslich, dagegen nimmt Aether reichlich Fette, Harze, ätherische Oele und andere Substanzen auf.

Salze des Aethyloxyds.

Das kohlensaure Aethyloxyd, C_4H_5O, CO_2, ist eine farblose Flüssigkeit, welche einen sehr angenehmen erfrischenden Geruch besitzt, aromatisch schmeckt und bei 126^0 siedet. Das salpetrigsaure Aethyloxyd, C_4H_5O, NO_3, ist weit flüchtiger, denn es siedet schon bei 16^0. Es hat einen angenehmen obstartigen Geruch und ist blaßgelb gefärbt. Die salpetersaure Verbindung dagegen ist farblos und siedet bei 85^0. Neutrales schwefelsaures Aethyloxyd, C_4H_5O, SO_3, stellt eine ölartige Flüssigkeit von pfeffermünzähnlichem Geruch dar, welche sich aber beim Erwärmen leicht zerlegt und daher nicht völlig unverändert destillirt werden kann, im Gegensatze zu den meisten anderen Aethyloxydsalzen. Selbst Kieselsäure liefert mit Aethyloxyd flüchtige stark riechende Verbindungen.

Wird Alkohol mit Schwefelsäurehydrat gemengt, so entsteht die Aether-

Aetherschwefelsäure. schwefelsäure, $C_4H_5O, SO_3 + SO_3HO$. Diese Säure, welche man auch als saures, schwefelsaures Aethyloxyd zu bezeichnen pflegt, ist eine ölartige, farb- und geruchlose Flüssigkeit, welche sich mit Wasser und Weingeist in allen Verhältnissen mengen läßt. Wir können diese Säuren mit den verschiedensten Basen zu löslichen, meist leicht krystallisirbaren Salzen vereinigen. Da auch jene mit Bleioxyd und Baryt, Kalk und anderen Basen, welche mit gewöhnlicher Schwefelsäure sehr schwer lösliche Salze liefern, von Wasser leicht aufgenommen werden, so ergibt sich aus diesem Umstande schon, daß die Aetherschwefelsäure nicht etwa wie saures schwefelsaures Kali ($KO, SO_3 + SO_3, HO$) constituirt sei, sondern die Schwefelsäure hier in einer eigenthümlichen Verbindungsweise auftritt, wobei sie aber ihre Fähigkeit, das Hydratwasser gegen ein Metalloxyd auszutauschen, nicht eingebüßt hat. In der That ist die Aetherschwefelsäure eine Verbindung des neutralen schwefelsauren Aethyloxyds mit Schwefelsäurehydrat. Letzteres behauptet dabei seinen wesentlichsten chemischen Charakter als Säure und wird darin durch die Gegenwart des schwefelsauren Aethyloxyds nicht beirrt. Dieses als ein chemisch indifferenter Körper hängt der Schwefelsäure gleichsam an. Solche eigenthümliche Verbindungsweisen treten bei organischen Substanzen nicht selten ein, welche dann gepaarte Verbindungen genannt werden. Der Körper aber, der den zweiten (wie hier die Schwefelsäure) begleitet, ohne diesen in seinen gewöhnlichen Functionen zu stören, wird Paarling genannt. In der Aetherschwefelsäure ist somit das Aethyloxydsalz der Paarling. Letzterer hat in manchen gepaarten Verbindungen, für sich gedacht, einen ganz entschiedenen chemischen Charakter, z. B. den einer Säure, welchen er aber einbüßt, sobald er als Paarling mit einem anderen Stoffe sich vereinigt hat.

Gepaarte Verbindungen.

Mandelsäure. Ein anderes interessantes Beispiel einer gepaarten Verbindung liefert uns die Mandelsäure. Diese bildet sich, wenn man Bittermandelöl, $C_{14}H_6O_2$, mit Blausäure und Chlorwasserstoff erwärmt. Wir haben oben gesehen, daß Blausäure mit stärkeren Mineralsäuren beim Erwärmen Ameisensäure und Ammoniak liefert. Dieß findet nun auch hier statt. Es entsteht Salmiak, aber die Ameisensäure vereinigt sich im Entstehungsmomente mit dem Bittermandelöl zu der gepaarten Mandelsäure: $C_{16}H_7O_5, HO = C_{14}H_6O_2 + C_2HO_3, HO$, die sich aus der wässerigen Lösung in deutlichen Krystallen erhalten läßt. Bei Einwirkung von solchen Substanzen, welche die Ameisensäure zerstören, wie Mangansuperoxyd u. dergl., kömmt das Bittermandelöl wieder mit seinen ursprünglichen Eigenschaften zum Vorschein.

Darstellung des Aethers. Aus der Aetherschwefelsäure kann man das Aethyloxyd austreten lassen, während die Schwefelsäure als Hydrat mit ihrer gewöhnlichen Beschaffenheit wieder erzeugt wird. Es gelingt dieß leicht, wenn man die Säure so weit mit Wasser verdünnt, daß ihr Siedepunkt bei 126° liegt. Sie zerfällt dann in Aether und Schwefelsäurehydrat: $C_4H_5O, SO_3 + SO_3HO + HO = C_4H_5O + 2(SO_3, HO)$; auf diesem Verhalten beruht auch das gewöhnliche Verfahren bei Bereitung des Aethers. Man mengt 5 Theile Alkohol von 90 % mit 9 Theilen englischer Schwefelsäure, bringt die so erzeugte Aetherschwefelsäure in eine mit gut gekühlter Vorlage versehene Retorte und erwärmt zum Sieden. Alsbald verflüchtigt sich Aether mit Wasserdampf. Es geht nun ganz leicht, die dabei frei werdende Schwefelsäure sogleich wieder zur Bildung von Aetherschwefelsäure und weiter von Aether zu benutzen, indem man durch den Tubulus der Retorte einen dünnen Strahl von Alkohol in dem Maße nachfließen läßt, als Aether und Wasser überdestilliren. Da nämlich der einfließende Alkohol

Digitized by Google

im Augenblicke seines Anlangens in der Retorte dort, wo er mit der Schwefelsäure zusammentrifft, eine Temperaturerniedrigung hervorruft, so bildet sich augenblicklich Aetherschwefelsäure, die aber binnen Kurzem wieder auf 126° erwärmt, dann in Schwefelsäure und Aether zerfällt. In dieser Weise läßt sich bei gehöriger Vorsicht in Festhaltung der Temperatur des Retorteninhaltes eine sehr bedeutende Menge Weingeist durch eine beschränkte Quantität Schwefelsäurehydrat in Aether und Wasser zerlegen. Diese Thatsache, welche früher bekannt war, als die dabei stattfindenden chemischen Vorgänge, hat seiner Zeit zu der Annahme geführt, daß der Schwefelsäure und anderen ähnlich wirkenden Körpern eine eigene Kraft innewohne, deren Wirkung sich in einer chemischen Umwandlung gewisser damit in Berührung gebrachter Substanzen äußere, ohne daß die mit besonderer Kraft ausgestatteten Stoffe eine chemische Veränderung erlitten. Diese hypothetische Kraft erhielt den Namen katalytische Kraft. Katalyse.

Erwärmt man Alkohol mit den Wasserstoffsäuren der Haloide, so entstehen die entsprechenden Haloidsalze des Aethers. Das Chloräthyl, C_4H_5Cl, hat einen durchdringenden Geruch und siedet bei 11°. Das Brom- und Jodäthyl sind schwerer als Wasser, sieden bei 41° und 70° und riechen ebenfalls heftig ätherartig. Auch mit Schwefel hat man das Aethyl in mehreren Verhältnissen verbunden und überhaupt mit diesem interessanten Radikal alle Verbindungsweisen der Metalle nachgeahmt.

Aus dem Jodäthyl läßt sich durch Erwärmen mit metallischem Zink unter gleichzeitiger Bildung von Jodzink das Aethyl, C_4H_5, im isolirten Zustande abscheiden. Es ist ein geruch- und farbloses Gas, welches sich bei mäßig starkem Druck zu einer farblosen Flüssigkeit condensirt. Das isolirte Aethyl vereinigt sich aber mit den negativen Elementen nicht direkt. Auch eine Verbindung des Aethyls mit Wasserstoff, den Aethylwasserstoff, C_4H_5, H, hat man dargestellt. Ein anderer Kohlenwasserstoff, welcher mit dem Aethyl in einem sehr einfachen Zusammenhange steht, ist das bereits Seite 457 besprochene ölbildende Gas, C_4H_4, von welchem wir erzählt haben, daß es rein durch Erwärmen von Alkohol mit überschüssiger Schwefelsäure dargestellt werden kann. Aethyl.

Abgesehen von den Verbindungen des Aethyls, worin dieses Radikal das Verhalten eines Metalles so genau nachahmt, kennen wir noch eine Reihe von Körpern, worin sich Aethyl mit Metallen zu sehr merkwürdigen Substanzen vereinigt hat, die zusammengesetzte Radikale einer höheren Ordnung vorstellen und in ihren Verbindungen den einfachen Metallradikalen noch weit näher kommen, als das Aethyl für sich. Man erhält diese Radikale durch Einwirkung von Jodäthyl auf die Legirungen der betreffenden Metalle mit Kalium oder Natrium. Letztere vereinigen sich dabei mit dem Jod. Das Aethyl tritt dann an das zweite Metall und bildet damit entweder eine flüchtige Verbindung, welche sich abdestilliren läßt oder einen nicht flüchtigen Körper, den man durch Aether, Weingeist und ähnliche Lösungsmittel von der rückständigen Legirung und dem Jodmetalle trennt. Mit einigen Metallen vereinigt sich das Jodäthyl direkt und indem demselben das Metall einverleibt wird, entsteht das neue Radikal, welches zugleich mit dem Jod in Verbindung bleibt. Auch Tellur und Arsen lassen sich mit dem Aethyl zu derlei eigenthümlichen Radikalen vereinigen. Diese bilden im isolirten Zustande meistens farblose, ölartige oder zähe Flüssigkeiten. Die Verwandtschaft der Aethylmetalle zu Sauerstoff, Schwefel und den Haloiden ist in der Regel Aethylmetalle.

Digitized by Google

höchst bedeutend und die Verbindungen finden direkt, meistens mit großer Heftigkeit, statt. Die Oxyde, welche ein, zwei, auch zuweilen noch mehr Atome Sauerstoff enthalten, sind sehr kräftige Basen, die mit den Sauerstoffsäuren häufig deutlich krystallisirte Salze liefern. Die Haloidsalze ahmen in ihrer Zusammensetzung die Oxyde nach. Alle diese Salze unterscheiden sich von den salzartigen Verbindungen des Aethers und ähnlicher Radikale schon dadurch, daß mittelst Doppelzersetzung Säuren und Haloide wie bei den gewöhnlichen Metallsalzen leicht auf andere Radikale übertragen werden können. Es mag genügen, wenn wir dieser allgemeinen Charakteristik die Namen und Formeln einige der wichtigeren Verbindungen dieser Art folgen lassen: Telluräthyl, C_4H_5Te; Telluräthyloxyd $(C_4H_5Te)\,O$; Stannäthyl, C_4H_5Sn; Stannäthyloxyd $(C_4H_5Sn)\,O$; Bismäthyl $3\,(C_4H_5)\,Bi$; Zinkäthyl, C_4H_5Zn; Stibäthyl, $3\,(C_4H_5)\,Sb$; Stibäthyloxyd, $3\,(C_4H_5)\,Sb, O_2$; Chlorstibäthyl $3\,(C_4H_5)\,Sb, Cl_2$ u. s. w.

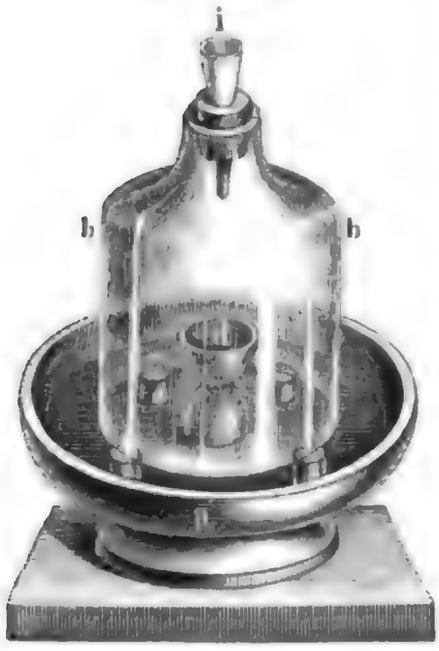
Acetyl. Mit dem Aethyl steht ein anderes Radikal in einem sehr einfachen Zusammenhange, welches sich von dem ersteren durch einen Mindergehalt von 2 Atomen Wasserstoff unterscheidet. Es ist dies das Acetyl, C_4H_3, das sich mit 3 Atomen Sauerstoff verbunden, in der Essigsäure vorfindet, deren Hydrat die Formel: $C_4H_3O_3, HO$ hat. Es ist aus der Vergleichung der Formel des Alkohols mit jener des Essigsäurehydrates ersichtlich, daß das Aethyl des ersteren nur 2 Atome Wasserstoff abzugeben und dagegen 2 Atome Sauerstoff aufzunehmen braucht, um den Alkohol in Essigsäurehydrat übergehen zu lassen. In der That entsteht die Essigsäure leicht aus dem Weingeiste, wenn man diesen unter passenden Verhältnissen dem Einflusse oxydirender Körper aussetzt; doch findet die Umwandlung in zwei Perioden statt, wovon die erste die Abscheidung des Wasserstoffes einschließt, während in der zweiten erst der Sauerstoff aufgenommen wird. Wir können das Produkt der ersten Einwirkung des Sauerstoffes isoliren. Es hat nach dem eben Mitgetheilten die Formel: $C_4H_5O, HO - {}_2H = C_4H_3O, HO$ und wird Aldehyd oder, da sich darin ein niedrigeres Oxyd des Acetyls mit Wasser verbunden vorfindet, Acetyloxydhydrat genannt. Dieser merkwürdige Körper läßt sich am besten durch Erwärmen von Weingeist mit einem Gemenge von Schwefelsäure und Mangansuperoxyd oder saurem, chromsaurem Kali in einer Retorte darstellen, wobei die letzt erwähnten Körper die Oxydation des Wasserstoffes veranlassen und der Aldehyd sich in der Vorlage verdichtet. Nach seiner völligen Reinigung stellt er eine farblose Flüssigkeit dar, welche schon bei 22^0 siedet, einen durchdringenden erstickenden Geruch besitzt, sich mit Wasser und Weingeist leicht mischt und völlig neutral erscheint. An der Luft nimmt Aldehyd sehr rasch Sauerstoff auf und geht dadurch in Essigsäurehydrat über: $C_4H_3O, HO + 2O = C_4H_3O_3, HO$.

Aldehyd.

Unter Vermittlung des feinvertheilten Platins findet die Bildung des Aldehyds und der Essigsäure durch den Sauerstoff der Luft leicht und rasch statt. Man setzt zu diesem Behufe, Fig. 268, in eine flache Schale a eine Glasglocke b, dergestalt, daß von unten leicht Luft eindringen kann, während durch den in eine feine Spitze ausgezogenen Trichter i Alkohol auf das in dem Schälchen d befindliche Platinschwarz tropft. Dieses erglüht bei der Berührung mit dem Weingeist und vermittelt bei beschränkterem Luftzutritt vorzugsweise die Entstehung von Aldehyd, der aber weiter in Essigsäure übergeht. Die Wirkung des Platinmohrs erklärt sich aus der S. 447 darüber gemachten Mittheilung.

Digitized by Google

(Fig. 268.)



Essig-gährung.

Man kann den Weingeist auch durch Berührung mit in Oxydation begriffenen Substanzen disponiren, direkt Sauerstoff aufzunehmen und so in Essigsäure überzugehen, was durch eine Temperatur von etwa 30° sehr befördert wird. Verwesende organische Stoffe eignen sich hiezu besonders gut, und darauf beruht auch die Fabrikation des Essigs, welcher mit Wasser verdünnte Essigsäure ist, und von letzterer 3—6 %, daneben aber, falls er aus Bier oder Wein erzeugt wurde, die übrigen Bestandtheile dieser Getränke enthält. Nach dem älteren Verfahren bringt man den auf den nöthigen Grad verdünnten Weingeist mit Essigmutter (eine im Essig sich sehr leicht bildende, mit Essigsäure durchtränkte, eine schlüpferige Masse vorstellende Pilzvegetation) und etwas fertigen Essig, häufig nach Zusatz von Honig und dergleichen, auf Fässer, füllt diese aber nur zu etwa zwei Drittel und stellt sie in beheizte Räume, wo dann die Essigbildung eintritt und nach einigen Wochen beendigt ist. Bei der sogenannten Schnelleſſigerzeugung läßt man den verdünnten Weingeist durch mehrere Oeffnungen in große, aufrecht gestellte Fässer, die Essigbildner fließen, worin sich mit Essig durchfeuchtete Buchenholzspäne finden, auf deren Oberfläche sich der Essig gut verbreitet und dem Sauerstoffe der Luft, welche durch mehrere über den Boden angebrachte Oeffnungen einströmt, dergestalt viele Angriffspunkte darbietet, weshalb die Umwandlung des Alkohols in sehr kurzer Zeit vollendet wird. Da in beiden Fällen die Bildung der Essigsäure nur Folge der Berührung mit den in Oxydation begriffenen Zusätzen (Essigmutter, Holzspäne u. dergl.) ist, also auf einer Mittheilung der chemischen Bewegung beruht, so pflegt man diese Art von Essigsäurebildung auch als eine Gährung zu bezeichnen, was sie strenge genommen eigentlich nicht ist, da ihr ein charakteristisches Merkmal der Gährung, das Zerfallen der Verbindung nämlich in mehrere einfache Stoffe ohne Mitwirkung der Luft, abgeht.

Schnell-essig.

Essigsäure.

Die Entstehung der Essigsäure ist jedoch nicht auf die Oxydation des Alkohols beschränkt. Es gibt im Gegentheile wenige Verbindungen, welche unter so mannigfaltigen Verhältnissen hervorgebracht werden können, wie eben die Essigsäure. Man findet sie als Hydrat und in Gestalt von Salzen im Safte mancher Pflanzen. Fast bei jeder durch starkes Erhitzen herbeigeführten gewaltsamen Zersetzung organischer Substanzen tritt Essigsäure auf, so namentlich bei der trockenen Destillation des Holzes, welche man in holzreichen Gegenden nicht selten vornimmt, um neben Theer, Holzgeist und Kohle als ein Hauptprodukt Essigsäure zu gewinnen, die als Holzessig in den Handel gebracht und vorzüglich zu technischen Zwecken verwendet wird.

Um reines Essigsäurehydrat darzustellen, zerlegt man trocknes essigsaures Natron mit Schwefelsäurehydrat, unter Erwärmen in einer Retorte, wobei es in die Vorlage übergeht. Es ist eine scharf sauer schmeckende und riechende farblose Flüssigkeit, welche bei + 16° zu einer krystallinischen Masse erstarrt und ein spec. Gew. von 1,08 hat, während ihr Siedepunkt bei 118° liegt. Mit den Basen liefert sie meist leichtlösliche krystallisirbare Salze.

Digitized by Google

Eines der wichtigeren ist das neutrale essigsaure Bleioxyd, Bleizucker, welchen man im Großen meist aus Holzessig dargestellt. Es ist im Wasser leicht löslich, krystallisirt daraus mit 3 Atomen Wasser und verbindet sich mit Bleioxyd zu mehreren basischen Salzen, die sämmtlich durch Kohlensäure in der beim Bleiweiß erörterten Weise zerlegt werden. Der Grünspan ist ein Gemenge mehrerer basisch essigsaurer Kupferoxydsalze und wird durch Befeuchten von Kupfer mit Essig und Aussetzen an die Luft erhalten.

Chloral. Wir haben schon oben erzählt, daß dem Chlor im hohen Grade die Fähigkeit zukommt, in organischen Substanzen, unter gleichzeitiger Bildung von Salzsäure, den Wasserstoff ganz oder theilweise zu substituiren. Zur Bildung von derlei chlorhaltigen Substitutionsprodukten sind die Abkömmlinge des Alkohols besonders geeignet, wobei aber in der Regel das Aethyl sich zunächst unter Wasserstoffentziehung in Acetyl umwandelt, welches dann erst weiter durch Chlor verändert wird. So entsteht durch Einwirkung von Chlor auf Alkohol selbst das Chloral: C_4Cl_3O, HO, dessen Formel, wie man sieht, der des Aldehyds nachgebildet ist. Es bildet eine durchdringend riechende, farblose Flüssigkeit. Aus Aethyloxyd kann man nach einander die Verbindungen C_4H_4Cl, O — $C_4H_3Cl_2, O$ — $C_4H_2Cl_3, O$ — C_4HCl_3, O — und endlich C_4Cl_5, O erhalten. Chloräthyl liefert C_4H_4Cl, Cl — $C_4H_3Cl_2, Cl$ — $C_4H_2Cl_3, Cl$ — C_4HCl_3, Cl — und schließlich C_4Cl_6, das ist anderthalb Chlorkohlenstoff. Aehnlich verhalten sich auch die meisten zusammengesetzten Aetherarten. In der Essigsäure läßt sich der Wasserstoff des Aethyls ebenfalls vollständig durch Chlor ersetzen und man erhält so die Chloressigsäure: $C_4Cl_3O_3, HO$. Es ist gelungen, aus dieser Verbindung wieder das Chlor herauszuholen und den Wasserstoff, unter Rückbildung der gewöhnlichen Essigsäure, wieder an

Oel des ölbildenden Gases. dessen Stelle zu setzen. Leitet man Chlor zu ölbildendem Gase, so bildet sich das Oel desselben, indem beide Körper sich zu einer flüssigen, angenehm riechenden Verbindung vereinigen, welche bei 84° siedet und der Formel: $C_4H_4Cl_2$ entspricht. Dieses Produkt wird aber bei weiterem Zutritt von Chlor ebenfalls in dem bezeichneten Sinne verändert und liefert schließlich gleich dem Chloräthyl anderthalb Chlorkohlenstoff.

Die Alkohole und ihre Abkömmlinge. Wir haben schon früher hervorgehoben, daß den Weingeist eine Reihe anderer Verbindungen in seinem chemischen Charakter nachahmt und zu ganz analogen Zersetzungsprodukten Veranlassung gibt, die wieder unter sich in demselben Zusammenhange stehen wie die des Weingeistes. Die Aehnlichkeit erstreckt sich bei den eigentlichen Alkoholarten so weit, daß die darin vorfindlichen Radikale in ihrer Zusammensetzungsweise sämmtlich einem Typus angehören und sich von einander immer nur durch ein Plus oder Minus, von einer nach der Formel: C_2H_2 zusammengesetzten Atomengruppe, oder deren Multiplum, unterscheiden. Bezeichnet man mit n irgend eine gerade Zahl, so ist $CnHn+_1$ der allgemeine Ausdruck für das Radikal der Alkohole, $CnHn+_1O$ die allgemeine Formel der dem Aethyloxyd entsprechenden Verbindung, $CnHn+_1O, HO$ repräsentirt den Alkohol, $CnHn-_1O, HO$ den Aldehyd, $CnHn-_1O_3, HO$ die Essigsäure und endlich CnHn den durch Austritt von Wasser aus dem Alkohol entstandenen Kohlenwasserstoff (beim Weingeist das ölbildende Gas). Körper, die bei völlig übereinstimmender chemischer Constitution sich durch ein Mehr oder Minder der erwähnten Atomengruppe C_2H_2 unterscheiden, nennt man homologe Substanzen. Die sämmtlichen Alkoholradikale, die verschiedenen Aetherarten und Alkohole selbst, die der Essigsäure, dem Aldehyd und ölbildenden Gase correspondirenden Ver-

Digitized by Google

bindungen bilden ſomit je für ſich abgeſchloſſene homologe Reihen organiſcher Körper, deren Namen und Formeln wir in der folgenden Tabelle zuſammenſtellen, wobei wir bemerken, daß gegründete Ausſicht vorhanden iſt, die in der Tabelle erſichtlichen Lücken mit der Zeit ganz auszufüllen.

Radical C_nH_{n+1}	Alkohol $C_nH_{n+1}O, HO$	Aether $C_nH_{n+1}O$	Aldehyd $C_nH_{n-1}O, HO$	Säure $C_nH_{n-1}O_3, HO$	Oelbildendes Gas C_nH_n
Methyl C_2H_3	Holzgeiſt C_2H_3O, HO	Methyloxyd C_2H_3O	—	Ameiſenſäure C_2HO_3, HO	Methylen C_2H_2
Aethyl C_4H_5	Weingeiſt C_4H_5O, HO	Aethyloxyd C_4H_5O	Eſſigſäurealdehyd C_4H_3O, HO	Eſſigſäure $C_4H_3O_3, HO$	Aethylen C_4H_4
Propyl C_6H_7	Propylalkoh. C_6H_7O, HO	Propyloxyd C_6H_7O	Propylal C_6H_5O, HO	Propionſäure $C_6H_5O_3, HO$	Propylen C_6H_6
Butyl C_8H_9	Butylalkohol C_8H_9O, HO	Butyloxyd C_8H_9O	Butiral C_8H_7O, HO	Butterſäure $C_8H_7O_3, HO$	Butylen C_8H_8
Amyl $C_{10}H_{11}$	Amylalkohol $C_{10}H_{11}O, HO$	Amyloxyd $C_{10}H_{11}O$	—	Valerianſäure $C_{10}H_9O_3, HO$	Amylen $C_{10}H_{10}$
Caproyl $C_{12}H_{13}$	Capronalkoh. $C_{12}H_{13}O, HO$	—	—	Capronſäure $C_{12}H_{11}O_3, HO$	Caproylen $C_{12}H_{12}$
—	—	—	Oenanthal $C_{14}H_{13}O, HO$	Oenanthſäure $C_{14}H_{13}O_3, HO$	—
—	—	—	Caprylaldehyd $C_{16}H_{15}O, HO$	Caprylſäure $C_{16}H_{15}O_3, HO$	Caprylen $C_{16}H_{16}$
—	—	—	—	Pelargonſäure $C_{18}H_{17}O_3, HO$	Pelargylen $C_{18}H_{18}$
—	—	—	Caprinaldehyd $C_{20}H_{19}O_1, HO$	Caprinſäure $C_{20}H_{19}O_3, HO$	—
—	—	—	—	Laurinſäure $C_{24}H_{23}O_3, HO$	—
—	—	—	—	Myriſtinſäure $C_{28}H_{27}O_3, HO$	—
—	Cetylalkohol $C_{32}H_{33}O, HO$	Cetyloxyd $C_{32}H_{33}O$	Cetylaldehyd $C_{32}H_{31}O, HO$	Palmitinſäure $C_{32}H_{31}O_3, HO$	Ceten $C_{32}H_{32}$
—	—	—	—	Stearinſäure $C_{36}H_{35}O_3, HO$	—
—	—	—	—	Arachinſäure $C_{40}H_{39}O_3, HO$	—
—	Cerotylalkoh. $C_{54}H_{55}O, HO$	—	—	Cerotinſäure $C_{54}H_{53}O_3, HO$	Ceroten $C_{54}H_{54}$
—	Meliſſylalkoh. $C_{60}H_{61}O, HO$	—	—	Meliſſinſäure $C_{60}H_{59}O_3, HO$	Melen $C_{60}H_{60}$

Digitized by Google

Holzgeist. Wir müssen uns beschränken, einige der wichtigeren in obiger Tabelle bezeichneten Körper näher zu besprechen. Der Methylalkohol entsteht bei der trockenen Destillation des Holzes und kann nur durch ein sehr umständliches Verfahren aus dem Theerwasser rein hergestellt werden. Es ist eine bewegliche farblose Flüssigkeit von eigenthümlichem Geruch, die bei 65,5° siedet und sich mit Wasser leicht mischt. Das Methyloxyd liefert mit den Säuren ähnliche Verbindungen wie das Aethyloxyd. Dem Aethylwasserstoff entspricht der Methylwasserstoff: C_2H_3, H, welcher nichts anderes als das schon früher beschriebene Grubengas ist. Dem Acetyl der Aethylreihe correspondirt das Formyl, C_2H, dessen Sauerstoffverbindung die Ameisensäure vorstellt, welche mit Essigsäure viele Aehnlichkeit hat, wie der Name andeutet in den Ameisen vorkommt, zudem aber in sehr mannigfaltiger Weise hervorgebracht werden kann. Das Formylchlorid, C_2H, Cl_3, ist das bei der Narkose vielfältig benutzte Chloroform. Die Buttersäure, welche dem Chloroform. Butylalkohol gegenüber dieselbe Bedeutung hat wie Essigsäure bei Aethylalkohol, ist sehr verbreitet und findet sich, wie der Name andeutet, in der Buttersäure. Butter, im trockenen Johannisbrot, gesäuertem Kraute u. s. w. Sie mischt sich nicht mehr in allen Verhältnissen mit Wasser, bildet eine ölartige, stark sauer und unangenehm riechende Flüssigkeit. Dieß gilt auch von der nicht nur durch Oxydation des Amylalkohols entstehenden, sondern auch in der Baldrianwurzel und anderen Pflanzentheilen vorkommenden Valeriansäure, sowie von der Capron-, Oenanthyl- und Caprylsäure; die meisten dieser Säuren, sowie Caprinsäure, finden sich in den Fetten. In dem Maße als der Kohlenstoffgehalt steigt, vermindert sich die Löslichkeit und Schmelzbarkeit dieser Säuren und erhöht sich der Siedepunkt ziemlich regelmäßig, je für C_2H_2 um 19°. Feste, fette Säure. Caprinsäure ist in gewöhnlicher Temperatur fest, krystallinisch, schon nahezu geruchlos, und findet sich ausschließlich in den Fetten, was auch von den höher zusammengesetzten Säuren gilt, die sämmtlich den Fett- oder Wachsarten angehören. Sie sind im Wasser völlig unlöslich, ohne Zersetzung kaum flüchtig, schmelzen bei um so höherer Temperatur, je höher ihr Kohlenstoffgehalt ist, und zeigen im Vergleich zu den niedriger zusammengesetzten, schwachsaure Eigenschaften. Geschmolzen bilden sie farblose Flüssigkeiten, die beim Erkalten zu blendend weißen, krystallinischen Massen erstarren. Aus Weingeist, welcher sie sämmtlich reichlich auflöst, krystallisiren sie in perlmutterglänzenden Blättchen oder Nadeln. Die in den Fetten am häufigsten auftretenden Säuren dieser Reihe sind die Palmitin- und Stearinsäure.

Fette. Die wichtigsten Eigenschaften der gewöhnlichen Fette sind allgemein bekannt. Wir wissen, daß es im Wasser völlig unlösliche weiche oder ölartige Substanzen sind, die sämmtlich in mäßiger Wärme völlig schmelzen und dagegen in starker Kälte zu farblosen festen Körpern erstarren. Farbe und Geschmack rühren bei den Fetten von fremdartigen Beimengungen her, ebenso größtentheils der Geruch, den nur solche Fette zeigen, welche merkliche Mengen von den niedriger zusammengesetzten Fettsäuren ($n = 8 - 20$) oder bereits Zersetzungsprodukte der Fette enthalten. Reine Fette sind gänzlich neutral. Sie haben eine Constitution, welche sich ganz an die der zusammengesetzten Aetherarten der Alkohole anschließt; nur ist der darin vorfindliche Aether sehr eigenthümlich constituirt. Gleich den übrigen zusammengesetzten Aetherarten müssen die Fette, um den Alkohol daraus abzuscheiden, längere Zeit mit stärkeren Basen erwärmt werden, wobei sich diese der fetten Säuren bemächtigen und der Aether mit Wasser verbunden als Alkohol austritt.

Digitized by Google

Letzterer bildet das sogenannte Glycerin, Oelsüß, im reinen Zustande eine farblose, syrupartige, geruchlose Flüssigkeit, von süßem Geschmack. Möglichst vom anhängenden Wasser, worin es sich sehr leicht löst, befreit, hat das Glycerin die Formel: $C_6H_5O_3$, 3HO. Es ist ein Alkohol, der von den früher besprochenen Alkoholarten sich durch die Fähigkeit unterscheidet, sämmtliche drei Atome Wasser mit wasserfreien Säuren zu vertauschen: etwa wie eine dreibasische Säure, zur Bildung eines neutralen Salzes, drei Atome Sauerstoff in der Base verlangt. Wenn wir uns daher unter A irgend eine wasserfreie Säure vorstellen, so gibt das Glycerin, bei Einwirkung der Hydrate, unter Abscheidung von Wasser, drei Reihen von Salzen: $C_6H_5O_3$, A, 2HO — $C_6H_5O_3$, 2A, HO und $C_6H_5O_3$, 3A. Die natürlich vorkommenden gewöhnlichen Fette entsprechen dem letzteren Typus und enthalten sämmtlich drei Atome der wasserfreien Säure, auf ein Atom der Gruppe: $C_6H_5O_3$. Bei Behandlung mit starken Basen treten die Säuren an letztere und das Glycerin wird unter Aufnahme von 3HO wieder zurückgebildet. Man nennt diesen Vorgang die Verseifung, und das Gemenge der Salze, die in solcher Weise entstehen, Seifen. Im gewöhnlichen Leben wird jedoch nur Kali- oder noch viel häufiger Natronseife angewendet, die man durch anhaltendes Kochen der Fette mit Lauge herstellt und welche ihre Wirksamkeit vorzüglich der Fähigkeit verdanken, durch viel Wasser in ein saures Salz und freies Alkali zerlegt zu werden, welches dann lösend und reinigend wirkt. Die gewöhnlichen Waschseifen sind fettsaures Natron. Die entsprechenden Kaliverbindungen bilden eine weiche, hygroskopische Masse, die als Schmierseife ausschließlich für technische Zwecke dient. In den Fetten finden sich aber nicht nur die oben erwähnten Säuren von der allgemeinen Formel: $C_nH_{n-1}O_3$, HO, sondern auch flüssige Säuren, welchen die Fette, je nachdem sie mehr oder weniger vorwiegen, ihre weiche bis ölige Beschaffenheit verdanken. Man nennt diese flüssigen Säuren: Oelsäuren. Die am Allgemeinsten verbreitete ist die gewöhnliche Oelsäure: $C_{36}H_{33}O_3$, HO, welche im reinen Zustande eine farb- und geruchlose, ölige, im Wasser unlösliche, sehr schwachsaure Flüssigkeit vorstellt, die bei + 4° zu einer weißen, krystallinischen Masse erstarrt, welche bei + 14° wieder schmilzt. Die Oelsäure oxydirt sich an der Luft sehr rasch und gibt dabei zur Bildung von braunen übelriechenden Stoffen Veranlassung, die auch entstehen, wenn die Fette selbst der Einwirkung der Luft durch längere Zeit überlassen bleiben, was man das Ranzigwerden derselben nennt. Durch Oxydation mit Salpetersäure kann man aus der Oelsäure alle flüchtigen Fettsäuren, von Pelargonsäure bis Essigsäure abwärts, erzeugen.

Glycerin. Verseifung. Oelsäuren.

Das Glycerin steht mit mehreren anderen Substanzen in einem sehr interessanten Zusammenhange. Eine Lösung desselben liefert auf Zusatz von Hefe, nach längerem Verweilen an einem warmen Orte, Propionsäure: $C_6H_8O_6 - 2HO = C_6H_5O_3$, HO. Das in letzterer enthaltene Radikal: C_6H_5, Allyl, Propylen, kann man, mit Jod verbunden, durch Behandlung von Glycerin mit Jodphosphor erhalten. Es bildet eine lauchartig riechende, farblose Flüssigkeit. Wird diese mit Rhodankalium erwärmt, so findet Doppelzersetzung statt und das Allyl verflüchtigt sich als Rhodanverbindung, während Jodkalium zurückbleibt: $K, C_2NS_2 + C_6H_5J = C_6H_5, C_2NS_2 + KJ$. Im Rhodanallyl erkennen wir leicht das Senföl, dessen Gegenwart im mit Wasser durchfeuchteten gepulverten Senfsamen und dem Meerrettig sich durch den bekannten durchdringenden Geruch kund gibt. Das Senföl, welches sich mittelst De-

Allyl.

Digitized by G

stillation des im Wasser angerührten, schwarzen Senfsamens reichlich gewinnen läßt, ist im letzteren nicht ursprünglich vorhanden, sondern entsteht erst, wie das Bittermandelöl aus Amygdalin (s. S. 548), unter Vermittlung eines im Wasser löslichen Fermentes, welches im weißen und schwarzen Senf sich vorfindet, aus der im letzteren vorhandenen Myronsäure. Es ist ein farbloses Oel, von dem bekannten scharfen Geruch, schwerer als Wasser und zieht auf der Haut Blasen. Der penetrante Geruch des Knoblauchs rührt von einem flüchtigen Oele her, welches die Schwefelverbindung des Allyls C_6H_5S ist. Durch Erwärmen des Senföls mit Schwefelkalium läßt sich das Knoblauchöl künstlich erhalten: $C_6H_5, C_2NS_2 + KS = C_6H_5S + K, C_2NS_2$.

Benzylalkohol. Wir haben im Glycerin einen Alkohol kennen gelernt, dessen Constitution von den gewöhnlichen Alkoholarten wesentlich abweicht. Es gibt aber noch viele Verbindungen, die sich den obigen Alkoholen viel vollständiger anschließen, nur sind die darin vorfindlichen Radikale nach einem anderen Typus zusammengesetzt, haben sonst aber dieselbe Bedeutung, wie die von der allgemeinen Formel: $CnHn+_1$. Von diesen Alkoholen mag hier der Bezylalkohol, als einer der interessanteren, Erwähnung finden. Er ist erst seit Kurzem bekannt und wurde durch Einwirkung einer weingeistigen Kalilösung auf Bittermandelöl erhalten, welches letztere im reinen Zustande den Aldehyd des Benzylalkohols vorstellt. Letzterer hat die Formel: $C_{14}H_7O, HO$ und ist

Bittermandelöl. eine flüchtige, ölartige Flüssigkeit. Das Bittermandelöl entspricht in seiner Zusammensetzung der Formel: $C_{14}H_6O_2$. Man gewinnt es durch Destillation der mit Wasser zu einem Brei zerstampften bitteren Mandeln, wo es gemeinschaftlich mit Blausäure übergeht, die eine wiederholte Destillation über Kalkhydrat fortschafft. Das reine Bittermandelöl hat einen sehr angenehmen Geruch, ist schwerer als Wasser, farblos und löst sich leicht in Weingeist. Man verwendet es häufig bei der Herstellung von Parfümeriewaaren. An der Luft, sowie beim Erwärmen mit Salpetersäure und anderen oxydirenden

Benzoësäure. Körpern, nimmt es Sauerstoff auf und verwandelt sich in Benzoësäurehydrat: $C_{14}H_6O_2 + 2O = C_{14}H_5O_3, HO$. Die Benzoësäure trifft man natürlich gebildet in mehreren Harzen, namentlich der wohlriechenden Benzoë, aus welcher sie auch gewöhnlich durch Sublimation gewonnen wird. Sie bildet farb- und geruchlose, nadelförmige Krystalle, welche sich in kaltem Wasser wenig, in heißem ziemlich reichlich lösen, bei 120^0 schmelzen und bei 250^0 verflüchtigen. Mit den Basen liefert sie meist lösliche und krystallisirbare Salze. Leitet man die Dämpfe von Benzoësäurehydrat über erhitztes Kalihydrat, so zerfällt es in Kohlensäure und einen Kohlenwasserstoff von der

Benzin. Formel: $C_{12}H_6$, das Benzin, Benzol: $C_{14}H_5O_3, HO = 2CO_2 + C_{12}H_6$. Die Kohlensäure bleibt bei diesem Vorgange an Kalk gebunden zurück und das Benzin entweicht als Dampf. Es riecht dem Bittermandelöl sehr ähnlich, siedet bei 80^0, wird auch bei der trockenen Destillation der Steinkohlen reichlich gebildet und aus deren Theer gewonnen, um als Lösungsmittel für Kautschuk ꝛc., sowie als Leuchtmaterial zu dienen.

Bernsteinsäure. Hinsichtlich der äußeren Eigenschaften zeigt mit Benzoësäure die Bernsteinsäure viele Aehnlichkeit, obwohl ihre Zusammensetzung ganz verschieden ist. Wie der Name andeutet, findet sie sich im Bernstein und kann durch Destillation desselben, nach Behandlung des Produkts mit Thierkohle, rein gewonnen werden. Auch in anderen Harzen (Terpentin) hat man Bernsteinsäure angetroffen, ebenso in manchen Pflanzen (Lattich, Wermuth), endlich entsteht sie reichlich bei Behandlung der Fette mit concentrirter Salpeter-

Digitized by Google

säure, sowie durch eine eigenthümliche Gährung, wobei faulender Käsestoff als Ferment wirkt, aus anderen organischen Säuren, z. B. Aepfelsäure und Aconitsäure. Die Bernsteinsäure krystallisirt aus Wasser, in farb- und geruchlosen Prismen, die bei 180° schmelzen und sich bei 225°, unter gleichzeitiger Abgabe der Hälfte des Hydratwassers verflüchtigen. Das Hydrat entspricht der Formel: $C_8H_4O_6$, 2HO. Die Säure ist zweibasisch und liefert zumeist leicht lösliche Salze.

Unter den zahlreichen Säuren, welche in den Pflanzen entstehen, sind einige deßhalb von besonderem Interesse, weil sie sehr verbreitet vorkommen und den sauren Geschmack der meisten Pflanzensäfte bedingen. Sie finden sich darin theils als Hydrat, theils in Gestalt von sauren Alkali- und Kalksalzen, sind krystallisirbar, nicht flüchtig und sämmtlich mehrbasisch. Bei der trockenen Destillation liefern sie neue krystallisirbare Säuren. Um sie darzustellen, pflegt man den sie hauptsächlich enthaltenden Pflanzensaft aufzukochen, von dem coagulirten Albumin abzufiltriren und dann mit Kreide oder Kalkhydrat zu behandeln, wobei sich ein schwer lösliches Kalksalz bildet, welches man mit der nöthigen Menge Schwefelsäure erwärmt, die unter gleichzeitiger Bildung von Gyps das Säurehydrat abscheidet, dessen Lösung dann durch Abdampfen zum Krystallisiren gebracht wird. Eine der wichtigsten Säuren dieser Gruppe ist die Weinsteinsäure, Weinsäure: $C_8H_4O_{10}$, 2HO. Weinsteinsäure. Sie findet sich im Safte der Trauben und somit im Weine als Hydrat und saures Kali- sowie Kalksalz und wird aus dem Kalisalze (Weinstein) dargestellt. Sie bildet farblose prismatische Krystalle, von sehr saurem Geschmack, die sich im Wasser leicht lösen, und ist zweibasisch. Das saure Kalisalz krystallisirt aus dem Wein bei der Gährung und längerem Aufbewahren. Es ist im Wasser schwer löslich und liefert bei Erwärmung der Lösung mit Antimonoxyd ein krystallisirbares Doppelsalz von der Formel: SbO_3, KO, $C_8H_4O_{10}$ + HO, welches als Brechweinstein in der Heilkunst vielseitig verwendet wird. In einigen südlichen Weinen findet sich neben der Weinsteinsäure auch Traubensäure, welche bei völlig gleicher Zusammensetzung ihrer Salze sich durch ihre Eigenschaften von ersterer wesentlich unterscheidet. Die Aepfelsäure herrscht in dem Safte der Aepfel vor und findet sich Aepfelsäure. auch in den Trauben, besonders vor der völligen Reife derselben. Sie krystallisirt aus Wasser schwierig in farblosen, blumenkohlartig angeordneten Blättchen, ist zweibasisch, hat die Formel $C_8H_4O_8$, 2HO und liefert eine große Reihe von meist schwer löslichen Salzen. Die Citronensäure, in Citronensäure. der Pflanzenwelt sehr verbreitet, bildet den sauren Bestandtheil des Citronensaftes. Sie ist dreibasisch, ihr Hydrat entspricht der Formel: $C_{12}H_5O_{11}$, 3HO, welches bei gewöhnlicher Temperatur aus der wässrigen Lösung sich mit zwei Atomen Krystallisationswasser abscheidet. Beim Erhitzen der Citronensäure gibt sie zunächst zwei Atome Wasser ab und verwandelt sich in die gleichfalls dreibasische Aconitsäure: $C_{12}H_3O_9$, 3HO. Diese auch Equisetsäure genannt, wird in den meisten Species von Aconitum und Equisetum angetroffen und krystallisirt in kleinen farblosen Blättchen, von stark saurem Geschmack. Obwohl ihrem Charakter nach nicht zu den oben besprochenen Milchsäure. Säuren gehörig, mag hier dennoch die Milchsäure eine Stelle finden, die zwar auch in Pflanzen angetroffen, hauptsächlich aber durch eine eigenthümliche Gährung aus Zucker gebildet wird. Der Käsestoff der Milch bedingt, sobald diese an die Luft gelangt, namentlich in mäßiger Wärme, sehr rasch eine Umwandlung des Milchzuckers in Milchsäure, was die Ursache

Digitized by Google

des Sauerwerdens der Milch ist und auch bald das Gerinnen des Käsestoffs veranlaßt. In gegohrenen Flüssigkeiten trifft man überhaupt allgemein etwas Milchsäure an, die auch im Weine vorzukommen pflegt. Die Säure hat dieselbe prozentische Zusammensetzung wie Milchzucker und Traubenzucker, ist zweibasisch, entspricht der Formel: $C_{12}H_{10}O_{10}$, 2HO, krystallisirt nicht und kann als Hydrat nur in Gestalt einer farb- und geruchlosen, syrupartigen, stark sauren Flüssigkeit erhalten werden.

Ammoniakbasen.

Wir haben in der vorhergehenden Besprechung der Alkohole zahlreiche Radikale kennen gelernt, die namentlich die Fähigkeit besitzen, in verschiedenen Verbindungen den Wasserstoff zu ersetzen und so Körper hervorzubringen, die bei veränderter Zusammensetzung dennoch den ursprünglichen Charakter der Stammverbindung unverrückt beibehalten. Unter den Verbindungen, deren Wasserstoff in solcher Weise substituirt werden kann, ist das Ammoniak weitaus die wichtigste. Es gibt durch die erwähnte Substitution zur Bildung einer großen Reihe von neuen Stoffen Veranlassung, unter welchen alle jene, wo die theilweise oder völlige Substitution des Wasserstoffs durch Alkoholradikale bewerkstelligt wurde, den chemischen Charakter des Ammoniaks vollständig beibehalten haben und somit bei Berührung mit Säuren Ammoniumsalze liefern, die wieder in ihren Eigenschaften den ursprünglichen parallel gehen, obwohl auch hier die Alkoholradikale an die Stelle des Wasserstoffs getreten sind. Diese vielseitigen Modifikationen des Ammoniaks sind an sich ebensowenig Basen wie letzteres selbst, sondern werden erst durch Aufnahme von Wasser oder einer dem Wasser analog constituirten Sauerstoffverbindung eines Alkoholradikals befähigt, Sauerstoffsalze zu bilden. Man nennt sie aber nichts destoweniger Ammoniakbasen und unterscheidet jene, wo bloß ein Atom Wasserstoff substituirt ist, als Amidbasen von solchen, wo zwei Atome Wasserstoff ersetzt wurden, die Imidbasen heißen und von den Nitrilbasen, in welchen aller Wasserstoff durch andere Radikale vertreten ist. Die Entstehung dieser merkwürdigen Basen findet in mannigfaltiger Weise statt. Am einfachsten kann man sie durch Einwirkung von Jod- oder Bromverbindungen der Radikale auf Ammoniak erzeugen. So entsteht beim Erwärmen des Letzteren mit Bromäthyl zunächst bromwasserstoffsaures Aethylamin: $NH_3 + C_4H_5Br = NH_2C_4H_5$, HBr. Bei Behandlung dieser Verbindung mit Kalk verhält sie sich wie Salmiak, d. h. es scheidet sich Ammoniak ab, welches dann aber eben schon ein Atom Wasserstoff durch Aethyl ersetzt enthält. Es ist eine farblose, sehr flüchtige Flüssigkeit, die nach Ammoniak riecht. Wenn wir sie nun neuerdings mit Bromäthyl erwärmen, so findet genau derselbe Vorgang wie früher statt. Das Aethyl tritt wieder in die Ammoniakgruppe ein und wir erhalten bromwasserstoffsaures Diäthylamin: NH, C_4H_5, C_4H_5, HBr, aus welchem durch Kalk wieder die Base, welche dem Aethylamin ähnlich ist, sich abscheiden läßt. Das Diäthylamin, der gleichen Behandlung mit Bromäthyl unterworfen, liefert weiter Triäthylamin: $N, C_4H_5, C_4H_5, C_4H_5$, welches sich beim Erwärmen mit Jodäthyl mit letzterem unmittelbar verbindet, gleichwie etwa Jodwasserstoff mit Ammoniak. Wir erhalten so eine völlig dem Jodammonium correspondirende Verbindung: $N(C_4H_5)4, J$, das Jodteträthylammonium. Das substituirte Ammonium ist viel beständiger als die Stammverbindung. Bei Behandlung mit Silberoxyd entsteht durch Doppelzersetzung Jodsilber und das Oxyd des Teträthylamoniums, welches im Wasser löslich, ungemein ätzend, kurz eine sehr kräftige Basis ist, deren Beschaffenheit stark an Kalihydrat erinnert. Denken wir

Digitized by Google

uns nun, wir hätten das obige Verfahren zur Herstellung des Teträthylammoniums in der Weise abgeändert, daß abwechselnd vier verschiedene Bromverbindungen von Alkoholradikalen angewendet worden wären, so finden dieselben Substituirungen statt, nur ist in dem Produkte jedes Atom Wasserstoff des Ammoniums durch ein anderes Alkoholradikal ersetzt. So läßt sich z. B. ein Ammoniumoxyd von folgender Formel herstellen: $N, C_2H_3, C_4H_5, C_6H_7, C_{10}H_{11}, O$, worin also Methyl, Aethyl, Propyl und Amyl vorkommen. Da nun viele Alkoholradikale und ähnliche Körper bekannt sind, welche sich sämmtlich zu solchen Substituirungen herleihen, so kann sich der Leser vorstellen, welche große Mannigfaltigkeit in der Zusammensetzung bei Combination der verschiedenen Radikale erzielt worden ist, ohne daß der Grundcharakter aller dieser Verbindungen eine Verschiedenheit darbieten würde.

Metamerie.

Wir müssen hier auf ein Verhältniß aufmerksam machen, welches bei manchen Reihen organischer Verbindungen zum Vorschein kommt, nirgends aber in solcher Ausdehnung, wie bei den eben besprochenen Ammoniakbasen. Man trifft nämlich Verbindungen von ganz gleicher Zusammensetzung, aber wesentlich verschiedenen Eigenschaften. Letzterer Umstand findet häufig seine Erklärung darin, daß wohl dieselbe Art und Anzahl von Atomen in diesen verschiedenen Verbindungen vorhanden, jene aber in jeder derselben anders angeordnet, gruppirt sind, welches Verhältniß man Metamerie nennt. So haben z. B. drei Ammoniakbasen dieselbe empirische Formel: C_6H_9N; die eine, das Trimethylamin enthält aber $N, C_2H_3, C_2H_3, C_2H_3$. Die zweite, das Propylamin, hat die rationelle Formel: N, H_2, C_6H_7 und endlich ist das Methyläthylamin: N, H, C_2H_3, C_4H_5. Nach der Formel $C_{10}H_{13}N$ sind fünf verschiedene Ammoniakbasen zusammengesetzt, nämlich: Amylamin: $N, H_2, C_{10}H_{11}$; Propyläthylamin: N, H, C_6H_7, C_4H_5; Dimethylpropylamin: $N, C_2H_3, C_2H_3, C_6H_7$; Diäthylmethylamin: $N, C_4H_5, C_4H_5, C_2H_3$; und Butylmethylamin: N, H, C_8H_9, C_2H_3. Um noch einige Beispiele metamerer Substanzen aus einer anderen Reihe von Verbindungen anzuführen, o ist Propionsäurehydrat: $C_6H_5O_3, HO$, metamer mit ameisensaurem Aethyloxyd: C_4H_5O, C_2HO_3 und mit essigsaurem Methyloxyd: $C_2H_3O, C_4H_3O_3$.

Sauerstoffhaltige Alkaloide.

Auch in der Natur finden sich einige Basen, welche nach ihrem Aussehen und ihrer Zusammensetzungsweise in die Reihe der Ammoniakbasen gehören, wie das Nicotin, welches man in der Tabakpflanze antrifft, das Coniin aus dem Schierling und andere. Außer diesen aber treten als Produkte des Pflanzen- und in geringer Anzahl auch des Thierlebens, sauerstoffhaltige, meist krystallisirbare, mit basischen Eigenschaften ausgestattete Verbindungen auf, welche man Alkaloide nennt. Viele derselben sind sehr giftig und überhaupt die Träger der hervorragendsten chemischen Eigenschaften jener Pflanzen, in welchen sie vorkommen. Eine große Anzahl derselben liefert krystallisirbare Doppelsalze. Manche dieser Alkaloide haben wegen ihrer mächtigen Wirkung auf den Organismus sehr viele Wichtigkeit. So ist der allgemeine Genuß von Kaffee und Thee der Anwesenheit des Caffeins in den genannten Produkten zuzuschreiben, welches Alkaloid nach der Formel: $N_4C_{16}H_{10}O_4$ zusammengesetzt ist und in weißen seidenglänzenden Nadeln krystallisirt. Im Opium finden sich mehrere Alkaloide. Unter diesen ragt das Morphin, als einer der wirksamsten Bestandtheile des Opiums, hervor, wie sich in der Königschinarinde das fieberwidrige Chinin: $C_{10}H_{21}N_2O_4$, in der Tollkirsche das höchst giftige Atropin: $C_{34}H_{23}NO_6$ vorfindet. In dem thierischen Organismus tritt als Alkaloid der Harnstoff auf, ferner das Kreatin;

Digitized by Google

$C_8H_9N_3O_4$ und das **Kreatinin**: $C_8H_7N_3O_2$; letztere nur spärlich, hauptsächlich in dem Safte des Muskelfleisches.

Amide. Eine große Reihe eigenthümlicher Zersetzungsprodukte liefern Ammoniaksalze organischer Säuren, wenn man selbe passend erwärmt, wobei Wasser austritt, welches seine Bildung einer theilweisen Reduktion der Säure durch den Wasserstoff des Ammoniaks verdankt, während der Rest der Säure, ein niedrigeres Oxyd des darin vorfindlichen Radikals, an die Stelle des Wasserstoffs im Ammoniak tritt. Körper, wo in solcher Weise ein Atom Wasserstoff durch den erwähnten Säurerest ersetzt wird, nennt man **Amide**. Solche bringen meistens die einbasischen Säuren hervor, indem deren Ammoniaksalz zwei Atome Wasser abgiebt. So entsteht z. B. aus Essigsäure das **Acetamid**: $C_4H_3O_2, H_2N = NH_4O, C_4H_3O_3 - 2HO$, eine farblose krystallisirbare Substanz.

Imide. Zur Bildung der Amide geben meistens die einbasischen Säuren Veranlassung, während die zweibasischen, wenn ihre sauren Ammoniaksalze erwärmt werden, unter Abgabe von vier Atomen Wasser, Verbindungen hervorbringen, die Ammoniak vorstellen, wo zwei Aeq. Wasserstoff durch den aus der Reduktion der Säure hervorgegangenen Rest substituirt sind. Derlei Produkte werden **Imide** genannt. Ein solches ist das durch Erhitzen von saurem bernsteinsauren Ammoniumoxyd hervorgebrachte **Succinimid**: $C_8H_4O_4, HN = NH_4O, C_8H_4O_6, HO - 4HO$. Es ist ein weißer krystallinischer, im Wasser löslicher Körper. Die Imide nehmen beim Erwärmen mit verdünnten Alkalien oder Ammoniak wieder zwei Atome Wasser auf und bilden so Säuren, welche sich sogleich mit der angewendeten Base verbinden. In diesen Säuren, die

Aminsäuren. man als **Aminsäuren** bezeichnet, ist die Hälfte des basischen Wassers der Säure, aus welchem das Imid entstand, mit seinem ursprünglichen chemischen Charakter vorhanden, d. h. durch Metalloxyde ersetzbar, während die wasserfreie Säure bloß um ein Atom Sauerstoff vermindert ist und dieser Rest ein Atom Wasserstoff im Ammoniak ersetzt. So bildet sich aus dem oben erwähnten Succinimid die **Succiraminsäure**: $NH_2, C_8H_4O_5, HO$.

Man hat in Pflanzen und Thieren natürlich vorkommende organische Verbindungen, sowie eine ungeheure Anzahl daraus abgeleiteter künstlicher Produkte kennen gelernt und deren procentische Zusammensetzung und häufig auch das Aequivalent, falls die Verbindung mit Affinität ausgestattet ist, festgestellt, ohne bis jetzt ihre eigentliche Constitution ausgemittelt zu haben. Viele dieser Stoffe sind theils wegen der Art ihres Vorkommens, theils ihrer Beziehungen zu anderen bekannten Substanzen oder ihrer Verwendbarkeit wegen von vielseitigem Interesse, so daß wir die wichtigsten Gruppen nach ihren Hauptrepräsentanten hier wohl nicht übergehen können. Man pflegt eine große Anzahl meist von Pflanzen stammender Körper unter dem Namen

Farbstoffe. **Farbstoffe** zusammenzufassen und bezeichnet mit diesem Ausdrucke nicht nur solche Substanzen, die an sich eine deutliche Farbe zeigen, sondern, und zwar vorzugsweise Verbindungen, welche sich dazu eignen, bei passender Behandlung andere ungefärbte Körper zu färben. So wichtig die letztere Gattung von Farbstoffen für die Industrie ist und so vielfältige Untersuchungen über die vorzüglichsten derselben man auch schon angestellt hat, so wenig ist es bisher gelungen, die Constitution derselben mit jener Deutlichkeit, wie etwa bei den Alkoholen, zu ermitteln und namentlich die Einzelnheiten jener Vorgänge festzustellen, welche erfahrungsmäßig bei Anwendung der Farbstoffe in der Färberei und Zeugdruckerei zum Ziele führen. Man hat z. B. im Krapp

Digitized by Google

(Färberröthe) mehrere krystallisirbare, zum Theil auch gefärbte Stoffe aufgefunden, aber ihre wechselseitigen Beziehungen beim Färben mit Krapp und die Veränderungen, welche sie dann erleiden, noch nicht ausgemittelt. Im Allgemeinen können die Farbstoffe mit den zu färbenden Geweben nicht unmittelbar verbunden werden, sondern man tränkt die auszufärbende Faser mit verschiedenen Salzen, namentlich essigsaurem Eisenoxydul, Eisenoxyd, essigsaurer Thonerde, Chlorzinn und ähnlichen Verbindungen, welche in diesem Falle Beitzen heißen und bringt sie hierauf mit der wässerigen Lösung der Farbstoffe meist in Gestalt eines Absudes des farbstoffhaltigen Materials zusammen, wobei die Farbstoffe nicht nur auf der Faser befestigt werden, sondern nach Art der Beitze auch erst die entsprechende Farbe liefern. Es ist klar, daß solchergestalt mit demselben Farbmaterial bei gehörig abgeänderter Beitze verschiedene Farben erzeugt werden können. Doch hat hier, wie bemerkt, trotz des enormen Fortschrittes dieses Zweiges menschlicher Industrie die Wissenschaft noch sehr wenig gefördert, und all die prachtvollen Farben und Dessins, welche wir an den Baumwollen- und anderen Stoffen bewundern, sind nach erfahrungsmäßig ausgemittelten Recepten hergestellt, deren Erklärung die Chemie vorläufig noch schuldet. Wir kennen nur einen einzigen Farbstoff, dessen Anwendung uns völlig klar ist, den Indigo, bekanntlich ein kostbares, vielseitig benutztes blaues Farbmaterial. Man gewinnt ihn in mehreren heißen Ländern aus verschiedenen Pflanzen, namentlich Nerium und Indigoferen, indem die Blätter desselben zerstampft und mit Wasser kurze Zeit in Berührung gebracht, bald eine eigenthümliche Gährung erleiden, in Folge deren aus einem uns wenig bekannten Bestandtheil der Pflanze ein in Wasser löslicher farbloser Körper sich bildet, der bei Zutritt der Luft, Sauerstoff aufnehmend, in Indigblau übergeht, welches gemeinschaftlich mit anderen verunreinigenden Stoffen sich, sehr fein vertheilt, aus der Flüssigkeit abscheidet und nach dem Trocknen den Indig des Handels vorstellt. Der wirksame Bestandtheil des Letzteren ist das eben erwähnte Indigblau, dessen Zusammensetzung der Formel: $C_{16}H_5NO_2$ entspricht. Das Indigblau ist geruch- und geschmacklos, im Wasser, Weingeist, Aether, verdünnten Säuren und Alkalien unlöslich, ganz indifferent, tief blau und flüchtig. Sein Dampf ist purpurroth. Wird es bei gleichzeitiger Gegenwart einer löslichen stärkeren Base, wie Kalk, Kali, unter Abschluß der Luft mit reducirenden Körpern, wie Eisenoxydul, Zinnoxydul, gewissen in Gährung begriffenen Pflanzenstoffen (Färberwaid) zusammengebracht, so verwandelt sich das Indigblau in Indigweiß, welches, an sich wohl auch im Wasser unlöslich, sich dagegen mit den genannten Basen zu löslichen Verbindungen vereinigt, aus denen es Säuren in Gestalt eines weißen krystallinischen Körpers abscheiden, der an der Luft ungemein rasch wieder in Indigblau übergeht, was auch bei den Verbindungen des Indigweiß mit Basen eintritt, während letztere frei werden. Das Indigweiß hat die Formel: $C_{16}H_6NO_2$ und unterscheidet sich daher von dem Indigblau durch den Mehrgehalt von 1 Atom Wasserstoff. Man kann annehmen, daß bei seiner Entstehung durch die erwähnten reducirenden Körper dem Indigblau 1 Atom Sauerstoff entzogen worden und die so hervorgebrachte Verbindung mit 1 Atom Wasser in Verbindung gegangen ist oder daß gerade nur Wasser zerlegt wurde und der Wasserstoff an das Indigblau getreten ist. Welche dieser beiden Deutungen die richtige ist, vermögen wir vorläufig nicht zu entscheiden.

Färberei.

Indigo.

Auf diesem wichtigen Verhalten beruht die Anwendung des Indigs als

Digitized by Google

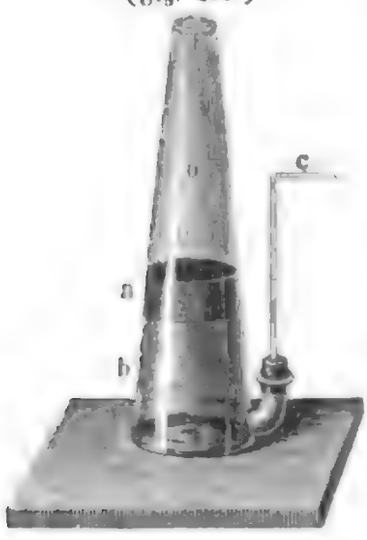
Farbstoff; denn da das Indigblau als ein in allen Medien unlöslicher Körper sich nicht wie andere Farbstoffe aus der Lösung auf der Faser abscheiden und befestigen läßt, verwandelt man es zunächst in Indigweiß, indem man Alkalien oder Kalk, Indigo und die erwähnten reducirenden Körper zusammenbringt und mit der so gewonnenen Lösung die zu färbenden Stoffe durch Eintauchen tränkt, dann an die Luft bringt und so die Rückbildung und gleichzeitige Befestigung des Indigblaues veranlaßt, indem der Sauerstoff das sechste Atom Wasserstoff wieder wegnimmt, um mit demselben Wasser hervorzubringen. Indig löst sich in concentrirter Schwefelsäure zu einer gepaarten Verbindung auf, welche als Indigblauschwefelsäure ebenfalls zum Färben benutzt wird und sich mit thierischer Wolle unmittelbar verbindet.

Chlorophyll. Unter allen Farbstoffen ist wohl das Grün der Pflanzen der verbreitetste. Man hat ihn auch in manchen niederen Thieren gefunden, ohne bis jetzt überhaupt dahin gelangt zu sein, über seine Zusammensetzung und Constitution Zuverlässiges ausgemittelt zu haben.

Aetherische Oele. Eine andere Gruppe von Körpern der verschiedensten Constitution, welche durch empirische Merkmale gleich den Farbstoffen früher vereinigt, jetzt in immer mehr einzelne Unterabtheilungen zerfällt, ist die Klasse der sogenannten ätherischen Oele, unter welchen man alle in gewöhnlicher Temperatur flüssigen und zugleich flüchtigen Verbindungen zu verstehen pflegt, die mit einem specifischem Geruch ausgestattet, diesen den Pflanzen ertheilen, in welchen sie auftreten. Daß Körper der verschiedensten Constitution in einer solchen Gruppe sich vereinigt finden müssen, erhellt aus den früheren Mittheilungen. Bittermandelöl z. B. und Senföl müssen beide hier eingereiht werden, obwohl das erstere ein aldehydartiger Körper, das Senföl Rhodanallyl, also eine Art zusammengesetzter Aether ist.

Man stellt die ätherischen Oele durch Destillation von den entsprechenden Pflanzentheilen mit Wasser dar, wobei die schwerer flüchtigen Oele mit den Wasserdämpfen übergehen und in der Vorlage dann gewöhnlich, da sie alle mehr oder weniger im Wasser löslich sind, eine von fein vertheiltem Oele getrübte wässerige Lösung desselben liefern, die man meistens wieder auf neue Pflanzentheile gießt und so bei einer zweiten Destillation den Gehalt an ätherischem Oel dergestalt steigert, daß ein namhafter Theil desselben ungelöst auf dem Wasser sich ansammelt. Man bedient sich hiebei gewöhnlich der sogenannten Florentinervorlage Fig. 269. In dem Gefäße o sammeln sich Wasser und Oel an; letzteres, gewöhnlich leichter als das Wasser, bildet darüber eine Schichte a. In dem Maße, als sich die Vorlage füllt, muß endlich das Wasser b, falls das Oel bereits über dem Niveau des Abflußrohres c steht, durch letzteres abrinnen, um bei einer folgenden Destillation wieder zu dienen, während sich das ätherische Oel in der Vorlage aufhäuft. Manche Pflanzentheile, wie Citronen- und Orangenschalen, enthalten in großen Drüsen so reichlich ätherisches Oel, daß dieses durch Auspressen daraus gewonnen werden kann. Viele ätherische Oele finden sich in den sogenannten Balsamen (siehe unten) und werden aus diesen durch Destillation mit Wasser gewonnen. Die

(Fig. 269.)



Digitized by Google

überwiegend große Mehrzahl aller in solcher Weise dargestellter flüchtiger Oele ist als Gemenge mehrerer Substanzen zu betrachten. Unter diesen trifft man Kohlenwasserstoffe, sauerstoffhaltige, meist aus ersteren abgeleitete Verbindungen und von letzteren solche, die flüssig sind, sowie andere, welche im reinen Zustande starre Körper vorstellen und Stearoptene heißen.

Wie sich aus diesen Andeutungen ergibt, sind die ätherischen Oele mit verschiedenem meist sehr unausgesprochenem chemischem Charakter ausgestattet und keineswegs sämmtlich flüssige Körper. Es findet sich aber unter ihnen eine Gruppe, deren einzelne Glieder hinsichtlich ihrer äußeren und chemischen Eigenschaften sehr große Aehnlichkeit darbieten. Es sind Kohlenwasserstoffe, welche sämmtlich nach ihrer procentischen Zusammensetzung der Formel: $C_{10}H_8$ entsprechen und deren gewöhnlich zwei gemeinschaftlich in einer Pflanze oder einem Produkte derselben, meistens noch gemengt, mit sauerstoffhaltigen flüchtigen Oelen auftreten. Sie haben den Namen Camphene erhalten. Die wichtigsten gemeinschaftlichen Eigenschaften derselben sind folgende: sie zeigen einen deutlichen, meist angenehmen Geruch, lösen sich schwierig im Wasser, dagegen im Weingeist. Ihr spec. Gew. beträgt durchschnittlich 0,82. Der Siedepunkt liegt bei 160—180°, an der Luft oxydiren sie sich und gehen in harzartige Körper über, die man auch häufig bei ihrem natürlichen Vorkommen mit Camphenen gemengt antrifft. Concentrirte Salpetersäure veranlaßt, damit vermischt, eine Entzündung derselben und mit Jod verpuffen viele heftig. Mit Chlorwasserstoff vereinigen sich die Camphene direkt und liefern feste oder flüssige Verbindungen, die einen kamphorähnlichen Geruch besitzen und bei Behandlung mit Kalk unter Bildung von Chlorcalcium und Wasser wieder einen Kohlenwasserstoff von gleicher Zusammensetzung, wie das ursprüngliche Oel, zum Vorschein kommen lassen, der aber in seinen Eigenschaften von letzterem, obwohl nicht wesentlich, abweicht. Die Camphene lösen Harze, Caoutschuck, Fette und viele andere im Wasser unlösliche Stoffe reichlich auf, weßhalb man die wohlfeileren, namentlich das Terpentinöl, zur Herstellung von Lackfirnissen, bei Verarbeitung des Caoutschucks vielfältig benutzt. Auch als Leuchtmaterial kommen sie zur Anwendung.

Camphene.

Das eben erwähnte Terpentinöl ist als das verbreitetste und zugänglichste der Camphene auch das wichtigste. Es findet sich in dem Terpentin, einem zähflüssigen Gemenge von Harzen und flüchtigen Oelen, welches in mehreren Sorten aus verschiedenen Nadelbäumen gewonnen wird, indem man Einschnitte in die Rinde macht und das ausfließende Produkt sammelt. Durch Destillation mit Wasser trennt man das Oel von dem zurückbleibenden Harz. Es ist im völlig reinen Zustande farblos, von unangenehmem Geruch, hat ein spec. Gew. von 0,86 und beginnt bei 157° zu sieden. Mit Chlorwasserstoff liefert es eine feste Verbindung von der Formel: $C_{20}H_{16}, HCl$, die sich aus der Flüssigkeit abscheidet, während die Mutterlauge eine bräunliche flüssige Verbindung von derselben Zusammensetzung ist, woraus sich mit Sicherheit schließen läßt, daß im Terpentinöl wenigstens zwei isomere Kohlenwasserstoffe vorhanden sind. Unter dem Namen Camphin wird gereinigtes Terpentinöl als Leuchtmaterial verwendet. Eine gleiche Zusammensetzung zeigen uns Citronen-, Wachholderbeeren-, Elemi-, Kopaiva-, Pfefferöl u. a., welche sämmtlich zu den Camphenen gehören. Ein näherer Einblick in die Constitution dieser eigenthümlichen Kohlenwasserstoffe ist uns vorläufig nicht vergönnt.

Terpentinöl.

Nicht selten gewinnt man durch Destillation gewisser Pflanzen Gemenge von Camphenen mit sauerstoffhaltigen flüchtigen Oelen. Diese scheinen größ-

Camphor.

Digitized by Google

tentheils erst durch Oxydation aus den Ersteren zu entstehen und sind häufig von ganz unbestimmtem noch nicht näher erkanntem chemischen Charakter. Unter solchen Produkten der Oxydation eines Camphens wäre der als Heilmittel vielseitig verwendete Camphor zu erwähnen. Der gewöhnliche oder japanesische Camphor findet sich im Holze von Laurus camphora, bisweilen in deutlicheren Krystallen abgelagert und wird durch Destillation mit Wasser daraus gewonnen. Er besitzt einen durchdringenden Geruch, verdampft schon in gewöhnlicher Temperatur reichlich an der Luft, schmilzt aber erst bei 150° und siedet bei 205°. Seine Zusammensetzung entspricht der Formel: $C_{20}H_{16}O_2$.

Harze. Wir haben bereits erwähnt, daß durch Oxydation aus den Camphenen häufig Harze entstehen. Diese in den Pflanzen sehr verbreitete Klasse von organischen Verbindungen ist uns hinsichtlich ihrer Constitution noch völlig unbekannt. Die Harze bilden in gewöhnlicher Temperatur feste spröde, meistens unkrystallinische, farb-, geruch- und geschmacklose Stoffe, die sich im Wasser durchaus nicht lösen, in der Wärme weich und klebrig werden, aber ohne beginnende Zersetzung sich nicht völlig schmelzen lassen. Die meisten Harze lösen sich im Weingeist und Aether. Einige derselben scheiden sich aus derlei Lösungen im krystallinischen Zustande ab. Manche derselben besitzen auch saure Eigenschaften und verbinden sich mit den Alkalien zu löslichen seifenartigen Salzen, welche auch eine ähnliche Wirksamkeit wie die Fettseifen zeigen und als ein wohlfeileres Ersatzmittel der letzteren, gewöhnlich mit diesen gemengt, erzeugt und angewendet werden. Die Pflanzen scheiden häufig Harze in ätherischen Oelen gelöst aus. Diese Produkte bilden dann

Balsame. weiche dickflüssige Massen, welche man Balsame nennt. Ein solcher Balsam ist der schon mehrmals erwähnte Terpentin. Nach dem Abdestilliren des Oeles (siehe oben) bleibt ein Gemenge von zwei Harzsäuren zurück, welches das Colophonium des Handels bildet. Letzteres ist gelb bis braun gefärbt, spröde, glasartig und aus der Sylvin- und Pininsäure zusammengesetzt. Beide entsprechen der Formel: $C_{40}H_{30}O_4, HO$; erstere krystallisirt aus Weingeist, letztere scheidet sich daraus als eine amorphe Masse aus. Die obige Formel der beiden Säuren gibt uns ein Bild ihrer Entstehung durch Oxydation des Terpentinöls: $2C_{20}H_{16} + 6O = C_{40}H_{30}O_4 + 2HO$. Aehnliche Zusammensetzung und chemische Verhältnisse lassen sich bei vielen anderen Harzen beobachten, von denen manche vorzüglich zur Herstellung von Lackfirnissen dienen, wie z. B. Mastix, Sandarak, Kopal ꝛc.

Manche Pflanzen liefern auch Gemenge von Gummi, Schleim, ätherischen Oelen und Harzen, die man Gummiharze nennt und meistens als Heilmittel verwendet.

Gerbstoffe. Wir wenden uns nun schließlich zur Besprechung einer anderen, der Pflanzenwelt angehörigen Gruppe organischer Verbindungen, die sehr verbreitet sind, in ihren einzelnen Gliedern manches Gemeinsame darbieten, durch ihren wenig hervorragenden chemischen Charakter und die große Zerleglichkeit bis jetzt aber eine vollständigere Erkenntniß ihrer eigentlichen Zusammensetzungsweise nicht zu erreichen gestatteten. Es sind dieß die sogenannten Gerbstoffe oder Gerbsäuren und gewisse, zumeist nur künstlich zu erhaltende Zersetzungsprodukte derselben. Sie haben ihren Namen von der Fähigkeit einiger derselben, die thierische Haut in Leder umzuwandeln, zu gerben. Fast jede Pflanze enthält merkliche Mengen solcher Gerbstoffe. Die meisten derselben sind nicht krystallisirbar, lösen sich leicht in Wasser und Weingeist, besitzen einen unangenehm zusammenziehenden Geschmack und haben den Charakter

Digitized by Google

einer schwachen Säure, weßhalb sie auch Gerbsäuren heißen. Mit Eisenoxydsalzen zusammengebracht bilden sie einen dunkelblau-schwarz oder schwarzgrün gefärbten Niederschlag, weßhalb man sie auch empirisch in zwei Gruppen, die eisengrün- und eisenblau-fällenden Gerbsäuren abzutheilen pflegt. Diejenigen unter ihnen, welche zu gerben vermögen, fällen auch Leimlösungen, indem sie sich mit dem Leim zu einem flockigen Niederschlag vereinigen. Die alkalischen Salze derselben färben sich an der Luft unter Aufnahme von Sauerstoff sehr rasch braun. Am genauesten ist noch der in den Galläpfeln vorfindliche Gerbstoff bekannt, welcher den Namen Eichengerbsäure, Tannin erhielt. Die Galläpfel sind bekanntlich die durch Einstich der Gallwespe auf den Blättern verschiedener Eichen hervorgebrachten runden oder mehr unregelmäßigen Auswüchse. Sie enthalten je nach ihrer Herkunft und Behandlung mehr oder weniger (bis zu 70 %) Tannin. Eichengerbstoff.

Um letzteres daraus zu gewinnen, werden die Galläpfel gewöhnlich gepulvert und in das Gefäß a des Extractionsapparates Fig. 270 geschichtet, dessen Mündung unten bei i mit Baumwolle verstopft ist. Hierauf gießt man wasserhaltigen Aether auf, verschließt mit dem eingeriebenen Stöpsel o und läßt die Flüssigkeit, nachdem a in die Flasche b eingesetzt wurde, mit den Galläpfeln einige Zeit in Berührung. Schließlich lüftet man bei o und läßt so die Flüssigkeit nach e abtropfen. Die Letztere bildet zwei Schichten, wovon die untere eine gesättigte wässerige Lösung von Gerbsäure ist, während die obere ätherische Flüssigkeit neben der Gerbsäure noch andere Extractivstoffe der Galläpfel enthält. Die wässerige Lösung dampft man im luftverdünnten Raume bei gewöhnlicher Temperatur ein, wobei die Eichengerbsäure endlich als ein unkrystallinisches, gelblich weißes Pulver zurückbleibt. Ihre Zusammensetzung entspricht der Formel: $C_{54}H_{19}O_{31}, 3HO$. Es ist eine dreibasische Säure, die unter verschiedenen Umständen, namentlich bei Einwirkung von erwärmten verdünnten Mineralsäuren in Zucker und eine neue dreibasische Säure, die Gallussäure, zerfällt (siehe oben Seite 545). Die Gallussäure ist farblos, krystallisirbar, findet sich auch schon in den Galläpfeln fertig gebildet vor, fällt Eisenoxydsalze blauschwarz, besitzt aber nicht das Vermögen zu gerben. Ihr Hydrat entspricht der Formel: $C_{14}H_3O_7, 3HO$. Gallussäure.

(Fig. 270.)

In den Rinden junger Eichen, in den Knoppern, findet sich eine der Eichengerbsäure ähnliche, vielleicht gleiche Gerbesäure vor, deren durch Aufgießen mit Wasser gewonnene wässerige Lösung das wichtigste Material zum Gerben thierischer Häute vorstellt, während Galläpfel hauptsächlich zur Anfertigung von Dinte und in der Färberei zur Verwendung kommen. In der allgemein bekannten Galläpfeltinte ist der durch Zusammenbringen von Eisenoxydsalz mit der Gerbsäure entstandene blauschwarze, fein vertheilte Niederschlag das färbende Princip. Um mit Gerbsäuren schwarz zu färben, beizt man die Tinte.

Digitized by Google

Stoffe mit Eisensalzen und bringt sie dann mit Gerbstofflösungen zusammen, wo dieselbe schwarzblaue Verbindung gebildet und gleichzeitig auf den Zeugen befestigt wird. Ueber die Theorie des Gerbens läßt sich dagegen wenig Zuverläßliches sagen. Die thierischen Membranen, welche sich zum Gerben eignen, sind die sogenannten leimgebenden Gewebe, deren Beschreibung wir noch unten folgen lassen wollen. Bringt man derlei Gewebe in eine Gerbstofflösung, so wird letzterer von der Haut vollständig aufgenommen und aus der Flüssigkeit entfernt. Ist die Haut damit gesättigt, so hat sie nicht nur an Festigkeit bedeutend gewonnen, sondern zugleich die den thierischen Substanzen so sehr eigenthümliche Zerleglichkeit durch Fäulniß und Verwesung größtentheils eingebüßt. Wir kennen jedoch die Art und Natur der Veränderung nicht, welche durch diese Aufnahme der Gerbsäure hervorgerufen wurde.

Gerberei.

Auf dem oben erwähnten Verhalten beruht die Loh- oder Rothgerberei. Die in lohgares Leder umzuwandelnden Häute werden zunächst enthaart, von der aus Hornsubstanz bestehenden Epidermis befreit und dann durch Einlegen in essigsäurehaltiges Wasser (gegohrnes Gerstenschrot, Lohbrühe u. dergl.) vorbereitet, wobei das Gewebe aufquillt und so zur Aufnahme des Gerbstoffs geeignet wird. Hierauf bringt man die so vorbereiteten Häute in die Lösung des Gerbstoffs, welche meist durch Aufguß der selben enthaltenden Pflanzentheile und zwar gewöhnlich in der Art bereitet wird, daß man geradezu Häute und Gerbematerial zusammenschichtet und unter Wasser längere Zeit verweilen läßt. Ebensowenig wie die Theorie der Lohgerberei, ist uns die des Weißgerbens und Sämischgerbens bekannt. Die Weißgerberei erzeugt weiße, weiche, geschmeidige Ledersorten durch Tränken der Häute mit einer Lösung von Kochsalz und Alaun. Beim Sämischgerben dagegen dient als Gerbemittel Fett, womit man die Häute durchtränkt und der Einwirkung der Luft aussetzt. In solcher Weise wird das sogenannte Waschleder erzeugt.

Kehren wir zu den Gerbstoffen zurück, so mag noch erwähnt werden, daß in der Gerberei die Rinde von Weiden und Ellern, Kastanien, Schmack (die Zweige einer Rhusart) und manche andere Materialien benutzt werden, über deren wirksame Bestandtheile uns bis jetzt alle Kenntnisse mangeln. Mehr bekannt und studirt sind die in dem sogenannten Catechu und Kino (eingedickten Pflanzensäften), sowie im Gelbholz enthaltenen Gerbstoffe und damit zusammenhängenden, der Gallussäure entsprechenden Säuren, welche meistens ebenfalls als mit Zucker gepaarte Verbindungen zu bezeichnen sind.

Digitized by Google

VI.

Die chemiſchen Lebensvorgänge im Menſchen.

Wenn wir in den vorhergehenden Zeilen verſucht haben, ein überſichtliches Bild der bis jetzt auf dem Gebiete der organiſchen Chemie gewonnenen Reſultate vorzuführen, ſo erübrigt noch die Bedeutung, den Werth derſelben zu beſprechen. Es wird dem Leſer nicht entgangen ſein, daß mit wenigen Ausnahmen, gerade jene Reihen von organiſchen Verbindungen am Genaueſten ſtudirt und hinſichtlich ihrer Conſtitution erkannt ſind, welche bei den natürlichen chemiſchen Prozeſſen entweder gar keine, oder nur eine untergeordnete Rolle ſpielen. Der Grund dafür iſt nicht etwa in einer beſonderen Vorliebe der Chemiker für dieſe Stoffe zu ſuchen, ſondern in der großen Schwierigkeit, welche das Studium der meiſten allgemeiner auftretenden organiſchen Subſtanzen darbietet, und die nur auf dem Wege überwunden werden kann, welchen die neuere Chemie eben eingeſchlagen hat, und der darin beſteht, die allmälige Erkenntniß der complicirteren, mit den Lebensvorgängen der Pflanzen und Thiere zuſammenhängenden, chemiſchen Prozeſſe durch Aufklärung der einfacheren Verhältniſſe anzubahnen. Wir müſſen hier der allzuverbreiteten Anſicht entgegentreten, daß unſere Wiſſenſchaft ſich gegenwärtig ſchon auf einer hohen Stufe der Entwicklung befinde. Dieſe Meinung wurzelt in der ungemein großen Anzahl von bereits bekannten Thatſachen, welche die Bemühungen der Fachgenoſſen in den letzten 30 Jahren zu Tage gefördert, und iſt inſoferne irrig, als wir in den meiſten Fällen noch weit entfernt davon ſind, dieſe Erſcheinungen erklären, ihren Zuſammenhang nachweiſen zu können. Allein alles beweiſt uns, daß wir, um endlich dieſes große, obwohl noch weit entfernte Ziel zu erreichen, den richtigen Weg der nüchternen Forſchung, der vorurtheilsfreien Beobachtung, und vor Allem der völligen Beſeitigung jeglicher Spekulation, eingeſchlagen haben, und wenn Männern wie Lavoiſier, Berzelius und Liebig kein anderes Verdienſt zukäme, als uns mit feſter Hand auf ſolche Bahn geleitet zu haben, ſo ſichert ihnen ſchon dieſes allein den Ruhm, welchen die Geſchichte unſerer Wiſſenſchaft ihnen für alle Zeiten bewahren wird.

Nach dieſen Bemerkungen kann es gewiß nicht befremden, wenn der Blick, welchen wir zum Schluſſe auf die chemiſchen Lebensvorgänge im menſchlichen Organismus werfen, uns noch zahlreiche Lücken und unerklärte Erſcheinungen enthüllen wird. Wir ſagen: zur Zeit unerklärt, aber keineswegs unerklärlich.

Reſpiration.

Gleich den Pflanzen, befinden ſich auch die Thiere und der Menſch in ſteter Wechſelwirkung mit der Atmoſphäre, deren Sauerſtoff unausgeſetzt

auf die organischen Gebilde zerstörend einwirkt und diese in einfachere Verbindungen, darunter reichlich Kohlensäure und Wasser überführt, welche aus dem Organismus treten. Alle Thiere sind mit besonderen Organen versehen, welche diese beständige Aufnahme von Sauerstoff und theilweise auch die Abscheidung der durch denselben hervorgebrachten Oxydationsprodukte besorgen. Als Respirationsorgan dient beim Menschen bekanntlich die Lunge. Indem diese Luft aufnimmt und abwechselnd beim Ausathmen wieder Gase in die Atmosphäre zurückführt, vermittelt sie dergestalt, daß der Sauerstoff in das Blut gelangt, und durch die stetige Circulation des letzteren an die verschiedensten Stellen des Körpers geführt wird, während das Blut zugleich die Produkte der durch den Sauerstoff beständig in Thätigkeit erhaltenen Zersetzungsprozesse wieder weiter führt und einen namhaften Theil derselben durch die Lungen aus dem Körper schafft. Ein anderer Theil dieser Reste des Organismus entweicht gasförmig durch die Poren der Haut, und endlich führt das Blut auch eine namhafte Quantität der durch den Einfluß des Sauerstoffs hervorgebrachten, für den Lebensprozeß unbrauchbar gewordenen Verbindungen den Nieren zu, welche ihre Abscheidung in wässeriger Lösung als Harn vermitteln. Die durch die Lunge ausgeathmeten Gase sind Kohlensäure, Stickstoff, Ammoniak, Wasserstoff, Sauerstoff und Wasserdampf. Während die eingeathmete Luft bekanntlich höchstens $^1/_{5000}$ ihres Volums Kohlensäure enthält, findet man in der ausgeathmeten 3—4,3 Volumprocente derselben. Der Stickstoff ist zum überwiegend größten Theile jener, der mit der Luft in die Lunge gelangt und unverwendet wieder daraus zurückkehrt, eine sehr kleine Quantität desselben aber stammt aus dem Organismus und entweicht als Zersetzungsprodukt organischer Substanzen, ebenso die Spur von Ammoniak und Wasserstoff, welche sich in den exhalirten Gasen finden. Der Sauerstoff ist als Rest des unverbrauchten zu betrachten, das Wasser aber stammt theils von der Oxydation der organischen Stoffe her, theils ist es mit den Speisen und Getränken in den Körper gelangt und verdunstet mit den Gasen. Auch durch die Haut werden beständig Gase abgeschieden. Diese kommen, hinsichtlich ihrer Zusammensetzung mit den durch die Lunge exhalirten überein, nur ist die Menge derselben viel geringer.

Harn. Bedeutend mannigfaltiger sind die als Harn in wässeriger Lösung aus dem Körper geschafften Substanzen, und unter diesen finden sich auch einige von höherer verwickelterer Constitution, welche hauptsächlich den Stickstoff der zerstörten Bestandtheile des Organismus aus dem Körper führen. Solche Verbindungen sind der schon besprochene Harnstoff und die Harnsäure, die sich auch im Harne vieler Säugethiere, Vögel und Schlangen, in letzterem besonders reichlich, findet.

Harnsäure. Die Harnsäure bildet im reinen Zustande ein weißes, krystallinisches, im Wasser sehr schwer lösliches Pulver. Die Zusammensetzung des Hydrats entspricht der Formel: $C_{10}H_2N_4O_6$, 2HO. Sie ist zweibasisch und nicht nur wegen ihres Vorkommens als ein in den verschiedensten thierischen Organismen entstehendes Umlegungsprodukt lebensfähiger Substanzen interessant, sondern auch, weil sie unter dem Einflusse verschiedener chemischen Agentien zur Bildung einer ungewöhnlich großen Anzahl neuer, daraus abgeleiteter Substanzen Veranlassung gibt. Während aber im normalen Harne durchschnittlich drei Prozente Harnstoff vorkommen, beträgt die Menge der Harnsäure nur beiläufig $^1/_{10}$ Prozent. Von krystallisirbaren stickstoffhaltigen Bestandtheilen des Harnes wären noch Hippursäure, Kreatin und Kreatinin zu

Digitized by Google

nennen. Dann trifft man noch im Harne färbende Substanzen, endlich zahlreiche unorganische Stoffe, die zum größeren Theile im Körper an der Zusammensetzung der Proteinsubstanzen Theil genommen haben, und von welchen saures phosphorsaures Natron, phosphorsaure Bittererde-Ammoniak, Chlorkalium, Kochsalz, Kieselsäure und Eisenoxyd zu erwähnen wären.

Gewisse organisch-saure Salze, wie z. B. essigsaures Kali werden, sobald sie in den Magen und sofort in die Circulation gelangen, in sehr kurzer Zeit durch den im Blute lebhaft unterhaltenen Oxydationsprozeß in kohlensaure Salze umgewandelt und treten alsbald in dem Harne als solche auf.

Schweiß. Auch der Schweiß führt sowohl organische wie unorganische Verbindungen aus dem Körper. Er enthält etwa $^1/_2$ % verschiedener Stoffe, der Rest ist Wasser. Man hat im Schweiß Buttersäure, Essig- und Ameisensäure, etwas Fett, phosphorsaures Kali und Natron, eine stickstoffhaltige organische Säure u. a. gefunden.

Thierische Wärme. Wie bemerkt, sind die erwähnten Abscheidungen organischer und unorganischer Stoffe die Folge des beständig thätigen Einflusses, welchen der Sauerstoff der Luft auf die zahlreichen Substanzen ausübt, die in ihrer Gesammtheit den menschlichen Körper zusammensetzen. Die dadurch bedingte Oxydation ist auch die Hauptursache der höheren gleichförmigen Temperatur des Organismus, die man als thierische Wärme zu bezeichnen pflegt, welche aber keineswegs als Folge besonderer vitaler Kräfte zu betrachten ist, sondern deren Erklärung in der stetig andauernden Verbrennung von Kohlenstoff und Wasserstoff, sowie der zahlreichen anderweitigen chemischen Umwandlungen, welche fortdauernd stattfinden, zu suchen ist.

Nahrung. Diese stetigen Umwandlungen treten nun großen Theils auf Kosten der im Körper vorhandenen organisirten Gebilde ein, diese werden beständig zerstört und müssen demnach, falls die Lebensfunktionen fortdauern sollen, wieder ersetzt werden. Dies geschieht durch die Nahrungsmittel, welche natürlich nur dann ihren Zweck erfüllen, wenn sie nach ihrer Zusammensetzung und Beschaffenheit befähigt sind, jene Umwandlungen zu erleiden, die einen Ersatz der verbrauchten Gebilde des Organismus vermitteln und ermöglichen. Das ganze Wesen der Ernährung beruht auf diesem unausgesetzten Zerstörungs- und Umbildungsprozeß, und der Leser kann aus diesen Andeutungen entnehmen, daß sein Körper, trotz der scheinbaren Unveränderlichkeit des Aussehens im gesunden Zustande, seine Gebilde beständig gegen neue auswechselt, zu deren normaler Herstellung die Nahrungsmittel dienen. Die Versuche und Beobachtungen, welche bisher über diesen Gegenstand angestellt wurden, führen zu dem Resultate, daß ein kräftiger Mann in beiläufig 18 Tagen durch den Respirationsproceß seine gesammte Körpermasse zerstört und demnach durch Neubildung aus den Nahrungsmitteln ersetzen muß, vorausgesetzt, daß sämmtliche Gebilde sich in gleicher Zeit abnutzen und somit aus dem Organismus treten müssen. Letzteres ist aber nicht wahrscheinlich und vorläufig können wir darüber nicht vollen Aufschluß geben, in welcher Periode eine in allen Theilen vollständige Erneuerung des Organismus stattfindet. Doch unterliegt es keinem Zweifel, daß dies mehrmals in einem Jahre der Fall ist. Ferner lehrt die Erfahrung des gewöhnlichen Lebens, daß bei gesteigerter körperlicher Anstrengung der Stoffwechsel im Organismus rascher verläuft und demnach das Bedürfniß des Ersatzes durch Speisen größer wird. Auch die Temperaturverhältnisse sind hier von großem Einfluß. Je kälter die Luft ist, in welcher wir athmen, um so bedeutender ist die Oxydation

Digitized by Google

im Organismus, und um so mehr Nahrung muß der Mensch als Ersatz zu sich nehmen. Daraus erklärt sich die Mäßigkeit der Bewohner warmer Länder, während bekanntlich Völker, die sich in kalten Zonen aufhalten, sehr viel Nahrung, besonders reichlich Fett zu sich nehmen. Diese Erscheinung veranlaßt uns die Frage zu erörtern, ob die verschiedenen Nahrungsmittel insgesammt zu dem erwähnten Zwecke der Neubildung der abgenutzten Organe gleich geeignet sind. Um diese Frage genügend beantworten zu können, müssen wir zuerst einen Blick auf die Hauptbestandtheile des menschlichen Körpers und ihre Zusammensetzung werfen. Manche derselben haben wir bereits früher kennen gelernt (S. 546). Es ist hier der Ort, das noch Fehlende nachzutragen.

Die Hauptmasse des Organismus besteht aus den stickstoffhaltigen Substanzen, welche wir dem Leser als eiweißartige Körper (Proteinstoffe) bezeichneten. Mit Ausnahme der Knochen und Nägel sind alle festen Bestandtheile des Organismus weiche, biegsame, von Flüssigkeiten durchtränkte Gebilde. Die festen Stoffe haben je nach ihrer Bestimmung eine verschiedene Gestalt. Die Flüssigkeiten, welche sich darin finden, sind vorherrschend wässerige Lösungen verschiedener sehr zahlreicher Körper, unter welchen sich auch manche unorganische Stoffe finden, besonders phosphorsaures Natron und Kali, kohlensaure Salze, phosphorsaurer Kalk, Chlorkalium, Kochsalz u. a. Die hervorragendsten Körper, welche sich als feste Gebilde im Organismus finden, sind: das Fleischfibrin, leimgebendes Gewebe (Ossein) Knorpel- und Hornsubstanz.

Fleischfibrin. Das Fleischfibrin bildet der Hauptmasse nach die Fasern des Muskelfleisches. Man hielt es lange für identisch mit dem Fibrin des Blutes (siehe unten), bis neuere Untersuchungen die Verschiedenheit in der Zusammensetzung beider unzweifelhaft herausstellten. Seiner durchschnittlichen Zusammensetzung und dem übrigen Verhalten nach schließt sich das Fleischfibrin den Proteinsubstanzen an und enthält reichlich Stickstoff. Ueber seine Constitution ist man aber eben so wenig, wie bei den übrigen Proteinstoffen im Klaren, auch ist es gleich letzteren unzweifelhaft ein Gemenge von bisher noch nicht isolirten Substanzen.

Leimgebender Stoff. Von den Albuminoiden ganz verschieden erscheint uns dagegen der leimgebende Stoff, den wir in den Knochen, Knorpeln und als leimgebendes Gewebe in der thierischen Haut antreffen. Der Zusammensetzung der Knochen haben wir schon früher Erwähnung gethan. Die phosphorsauren Salze der Bittererde und des Kalks, sowie die kleinen Mengen anderer unorganischer Stoffe, welche sich in den Knochen (zusammen etwa 64 %) finden, lösen sich bei Behandlung derselben mit verdünnter Salzsäure völlig auf. Es bleibt dann der organische Stoff zurück, welcher die genannten Salze zur festen Knochenmasse vereinigt. Er bildet, in erwähnter Weise erhalten, eine durchscheinende gallertartige Substanz, die im Wasser völlig unlöslich ist. Bei längerem Kochen damit verwandelt sich selbe aber vollständig in einen löslichen Körper, den allgemein bekannten Leim, ohne dabei seine Zusammensetzung im Geringsten zu ändern. Es erinnert diese Umwandlung an den Uebergang des Stärkemehls in Dextrin. Während nun der leimgebende Stoff der Knochen, der den Namen Ossein erhielt, im Organismus keine bestimmte Gestalt angenommen, zeigt die Haut (Membran), welche in ihrer Beschaffenheit mit dem Ossein sonst völlig übereinstimmt, eine deutliche Textur. Sie besteht aus drei Hauptschichten, deren stärkste

Digitized by Google

die eigentliche Lederhaut, ein Gewirre von flachen, sich im verschiedensten Sinne durchkreuzenden Fäden vorstellt, die aus leimgebendem Stoff bestehen und beim Kochen mit Wasser, gleich dem Ossein, in löslichen Leim übergehen. Das eigenthümliche Verhalten dieses Gewebes, gegenüber den Gerbstoffen, haben wir oben erörtert. Nach dem Gerben liefert die Lederhaut keinen Leim mehr.

Die in den Gerbereien abfallenden ungegerbten Hautstücke und dergl. dienen zur Bereitung des gewöhnlichen Leims, indem man sie bis zu völliger Auflösung im Wasser kocht, das noch warme, flüssige Produkt in passenden Gefäßen erkalten läßt, wo es zu einer gallertartigen zitternden Masse erstarrt, die in flache Stücke zerschnitten und auf Netzen sorgfältig getrocknet, den Tischlerleim vorstellen.

Hornsubstanz.

Die oberste Schichte der Haut ist nicht leimgebendes Gewebe, sondern Hornsubstanz und identisch mit dem Stoffe, aus welchem die Nägel und Haare bestehen. Die Hornsubstanz ist besonders reich an Stickstoff und Schwefel, löst sich in Alkalien und wird daraus durch Säuren, als eine gallertartige Masse abgeschieden. Die Klauen, Hörner, Borsten und dergl. der Thiere stimmen im Wesentlichen mit der erwähnten Hornsubstanz überein.

Chondrin.

In den Knorpeln ist neben den gewöhnlichen Knochensalzen ein bindender Stoff vorhanden, welcher sehr viel Aehnlichkeit mit dem Ossein zeigt, aber keineswegs vollständig damit übereinstimmt. Er wurde Chondrin genannt, bleibt bei Behandlung der Knorpeln mit Säure durchscheinend gallertartig zurück, ist für sich im Wasser unlöslich, wird aber durch längeres Kochen ebenfalls in einen leimartigen Stoff umgewandelt, welchen man Knorpelleim nennt.

Fast überall im Organismus wird Fett angetroffen. In manchen Geweben findet es sich reichlich in Zellen eingeschlossen und scheint dort theils die Aufgabe zu haben, die Gewebe weich und geschmeidig zu erhalten, theils eine Art von Vorrath für den Respirationsprozeß zu bieten. In manchen thierischen Flüssigkeiten erscheint Fett in feinen Tröpfchen emulsionsartig vertheilt. Es unterliegt keinem Zweifel, daß wir mit unseren gewöhnlichen Nahrungsmitteln reichlich Fett in unseren Organismus bringen, doch vermag dieser in einer uns noch völlig unbekannten Weise auch aus Kohlenhydraten, wie Stärkemehl und Zucker, Fett zu bilden und dieses dann weiter zu verwenden.

Obwohl nun Fett und Traubenzucker als normale Bestandtheile im menschlichen Körper vorkommen, und man im Gehirn auch einen mit der Cellulose verwandten Körper aufgefunden, so nehmen die genannten Stoffe an der Zusammensetzung der festen Gebilde nur sehr wenig Antheil. Sie werden aber in den meisten Fällen als Nahrungsmittel reichlich genossen. Die zweckmäßigsten Speisen enthalten auf 15 Theile stickstoffhaltiger eiweißartiger Körper 85 Theile Kohlenhydrate und Fette. Die Milch, gleichsam das Vorbild eines passend zusammengesetzten Nahrungsmittels, enthält durchschnittlich auf 3,5 Theile Casein, 5 Theile Milchzucker, 4,5 Theile Butterfett und 0,5 Theile unorganische Salze, darunter vorwiegend phosphorsauren Kalk.

Respirationsmittel.

Die in den Körper gelangenden Kohlenhydrate und Fette, besonders erstere, werden größtentheils durch den stets thätigen Oxydationsprozeß in verhältnißmäßig kurzer Zeit aus dem Organismus geschafft, weshalb sie Liebig als sogenannte Respirationsmittel bezeichnet. Während die zur Ergänzung der festen Gebilde und Gewebe dienenden stickstoffhaltigen Stoffe von ihm plastische Nahrungsmittel genannt werden. Es soll damit keineswegs gesagt sein, daß letztere zur Ernährung nicht ausreichten, allein

Plastische Nahrungsmittel.

Digitized by Google

in allen gebräuchlichen Nahrungsmitteln finden sich mehr oder weniger Respirationsmittel, wenigstens Fette vor, welche an sich allein den Organismus zu erhalten nicht im Stande sind, so daß der Hungertod unvermeidlich ist, falls man versucht, sich ausschließlich mit Fett, Zucker und dergl. zu ernähren. Dieß ist klar, wenn wir uns erinnern, daß die Hauptmasse des Körpers aus stickstoffhaltigen eiweißartigen Stoffen besteht.

Das Blut. Für den Stoffwechsel im Organismus muß vor Allem als besonders wichtig das Blut bezeichnet werden, welches jedoch keineswegs bloß gelöste Substanzen, sondern zugleich feste, sehr kleine, darin schwebende Körperchen, die sogenannten Blutkügelchen, Blutzellen enthält, die bei allen warmblütigen und auch bei vielen kaltblütigen Thieren in überwiegender Mehrzahl roth gefärbt erscheinen und dadurch die Farbe des Blutes bedingen, welche nach dem Gesagten nicht der Flüssigkeit, sondern den darin suspendirten Blutkügelchen zukömmt. Das Blut enthält nicht nur alle durch die Verdauung dem Körper zugeführten Respirations- und plastischen Nahrungsmittel, sondern zugleich sämmtliche Umwandlungsprodukte, welche durch die beständige Einwirkung des Sauerstoffs, den eben das Blut an die verschiedensten Stellen des Organismus führt, entstanden, von dem Blute wieder weiter geschafft und in den Nieren, der Lunge und der Haut abgegeben werden, nun als Harn, Respirations- oder Perspirationsgase (letztere durch die Haut) endlich als Schweiß aus dem Körper austreten zu können. Diese Andeutungen lassen erschließen, wie groß die Mannigfaltigkeit der verschiedenen Substanzen sei, die bisher im Blute aufgefunden wurden. Die Reihe derselben ist aber noch keineswegs abgeschlossen, denn viele Stoffe kommen nur in sehr kleiner Menge im Blute vor und erleiden zudem auf ihrem Wege noch verschiedene Umwandlungen. Es ist klar, daß jenes Blut, welches von der Peripherie des Körpers, mit den Umsetzungsprodukten beladen, zurückkehrt, eine andere Zusammensetzung haben müsse, als das, welches die assimilirten Nahrungsstoffe und den eingeathmeten Sauerstoff aufgenommen und diese den verschiedenen Körpertheilen zuführen muß. In einem der folgenden Theile dieses Werkes soll der Weg, welchen das Blut zurücklegt, der Verlauf der Circulation ausführlicher besprochen werden, hier genüge die Mittheilung, daß durch das Herz, welches sich regelmäßig zusammenzieht und ausdehnt und dabei nach Art einer Saug- und Druckpumpe wirkt, unter Vermittlung seiner Kammern das Blut beständig in anfangs weitere, dann sich aber in sehr feine Röhrchen (die Capillargefäße) verästelnden Röhren getrieben wird, deren Wände für die außerhalb der Gefäße befindlichen Flüssigkeiten nicht undurchdringlich sind und andererseits auch wieder gewisse Bestandtheile des Blutes, als Lösung hindurchlassen, so daß in dem die Gewebe vielseitig durchdringenden Capillarsysteme ein Austausch stattfindet. Die so aufgenommenen Umsetzungsstoffe werden mit dem Blute wieder weiter geführt, indem die Capillargefäße sich wieder zu größeren Röhren vereinigen, die endlich das Blut in das Herz zurückleiten. Mit dem Blute, welches von den Lungen zu den Geweben strömt, bewegt sich auch der dort aufgenommene Sauerstoff und veranlaßt schon auf seinem Wege manche Veränderung der Blutbestandtheile, die sich namentlich in den Capillargefäßen und den benachbarten Geweben fortsetzt, so daß an die Stelle eines großen Theiles des absorbirten Sauerstoffs nun Kohlensäure tritt, welche von dem Blute aufgenommen, in das Herz gelangt und von da in die Lungen, wo sie, wie bemerkt, ausgeathmet wird. Die Adern, welche mit Sauerstoff beladenes

Digitized by Google

Blut führen, heißen Arterien, jene, worin sich das an Kohlensäure reiche bewegt, Venen. Das Blut der Arterien ist lebhaft roth, oder vielmehr zeigen die darin schwebenden Blutkügelchen diese Farbe, während letztere im Blute der Venen mehr braunroth gefärbt sind, weshalb das venöse Blut dunkler erscheint. Ein namhafter Unterschied hinsichtlich der Zusammensetzung der beiden Blutarten liegt in dem verschiedenen Gehalte an Gasen, von denen Sauerstoff, Kohlensäure und Stickstoff in größerer Menge sich darin vorfinden, als dem Absorptionsvermögen des Wassers im Blute entspricht. Das arterielle Blut, als das an Sauerstoff reichere, enthält 10—13 Volumprocente dieses Gases auf durchschnittlich 66 Volumprocente Kohlensäure. Im venösen Blute hat man dagegen nur etwa 8 Volumprocente Sauerstoff, dafür aber bis 78 Volumprocente Kohlensäure angetroffen. In Hinsicht des Stickstoffgehaltes läßt sich kein bemerkbarer Unterschied bei dem arteriellen und venösen Blute nachweisen, in beiden findet man 1,7 bis 3,7 % dieses Gases.

Blutkörperchen.

Beim Menschen bilden die Blutkörperchen ziemlich dicke, kreisrunde, an beiden Seiten in der Mitte etwas vertiefte Scheiben. Die überwiegend meisten sind roth gefärbt, doch finden sich auch spärlich farblose Körper von kugliger Gestalt. Die Blutzellen sind keineswegs ein einfacher, selbstständiger Stoff, sondern enthalten verschiedene Substanzen. Man unterscheidet darin eine Hüllenmembran, die den anderen Proteinstoffen ähnlich ist, aber keinen Schwefel enthält. Den Inhalt der Zellen bildet eine zähe Flüssigkeit, die in manchen Beziehungen ebenfalls an die Eiweißstoffe erinnert, aber die sonst nicht beobachtete Eigenschaft besitzt, nach einem bisher noch nicht näher erkanntem Einflusse von Sauerstoff, Kohlensäure und Licht zu krystallisiren. Der rothe Farbstoff, welcher dieser Hämotokrystallin genannten Substanz beigemengt ist und den man gewöhnlich Hämatin nennt, enthält gegen 7 % Eisen; außerdem finden sich in den Blutkörperchen Fett, Kochsalz, schwefelsaure und phosphorsaure Alkalien, sowie Kalk- und Bittererde. Diese unorganischen Verbindungen werden auch in der Blutflüssigkeit angetroffen, die zudem in 1000 Theilen 4 Theile Fibrin und etwas über 78 Theile Albumin enthält. Die wichtigsten Eigenschaften des Letzteren haben wir bereits oben kennen gelernt.

Blutfibrin.

Das Fibrin (Faserstoff) unterscheidet sich von allen übrigen eiweißartigen Substanzen durch seine eigenthümliche Coagulirbarkeit; sowie es nämlich mit dem Blute als Lösung aus dem Körper gelangt, beginnt es sogleich auch bei Abschluß der Luft zu gerinnen und scheidet sich binnen Kurzem vollständig unlöslich ab. Es ist dann eine faserige, aus einem Gewirre elastischer Fäden zusammengesetzte farblose Masse, die, falls man das Blut ruhig stehen gelassen, am Boden des Gefäßes den Blutkuchen bildet, der von den mechanisch umschlossenen Blutkörperchen roth gefärbt ist, während die darüber stehende opalisirende Flüssigkeit (das Blutserum) sämmtlichen Eiweißstoff enthält, welcher erst beim Erwärmen coagulirt. Außer den erwähnten Bestandtheilen der Blutflüssigkeit sind noch anzuführen: Fett, Traubenzucker, Harnstoff, Kreatin, Kreatinin, Hippursäure, verschiedene Farbstoffe, Ameisen-, Essig- und Milchsäure. Alle diese Substanzen betragen in der Blutflüssigkeit zusammen nur 9,7 %, wovon aber auf das Albumin allein, wie bemerkt, 7,8 % kommen. Obwohl nach dem oben Erörterten das Fibrin und Albumin als jene Stoffe bezeichnet werden müssen, welche vor Allem die wichtige Bestimmung haben, die durch den unausgesetzten Zerstörungsprozeß untauglich gewordenen Gewebe und Gebilde wieder zu ersetzen, so hat man als Material der letzteren bisher weder Faserstoff,

Digitized by Google

noch Albumin mit Sicherheit nachweisen können, woraus hervorgeht, daß beide bei ihrer Verwendung noch gewisse Umwandlungen erleiden, welche durch die große chemische Aehnlichkeit sämmtlicher Albuminoide namhaft begünstigt werden, doch sind uns alle Einzelnheiten über diese Vorgänge ganz unbekannt. Das oben beschriebene Fleischfibrin, welches in seinem äußeren Ansehen viele Aehnlichkeit mit dem in feinen Fasern coagulirten Blutfibrin zeigt und lange mit selbem für identisch gehalten wurde, unterscheidet sich, wie bemerkt, durch seine Zusammensetzung wesentlich davon.

Verdauung. Nachdem wir nun im Vorhergehenden die wichtigsten bekannten Bestandtheile des menschlichen Organismus und des zur Erneuerung desselben bestimmten Blutes kennen gelernt haben, wollen wir einen Blick auf die verwickelten Vorgänge der Assimilation der Nahrungsmittel werfen, welche den ganzen Prozeß in beständiger Thätigkeit erhält, indem sie dem zerstörenden Einflusse der Atmosphäre durch stetigen Ersatz der untauglich gewordenen Gebilde, so lange der Organismus sich im gesunden Zustande befindet, vollständig das Gleichgewicht hält. Ueber die Zusammensetzung der Nahrungsmittel wurde bereits das Nöthige bemerkt. Der Leser wird sich erinnern, daß selbe stets Gemenge von eiweißartigen Stoffen, Fetten und Kohlenhydraten sind, denen sich allerdings in vielen Fällen noch andere Substanzen zugesellen, die aber auf den Verlauf der Ernährung gar keinen oder nur einen sehr unwesentlichen Einfluß nehmen. Die verschiedene Zubereitung der Nahrungsmittel ist theils Sache der Gewohnheit, theils Folge der Erfahrung, daß viele Nahrungsstoffe erst nach vorhergehender, meist durch ein passendes Erwärmen erzielter Abänderung ihrer Beschaffenheit leicht und vollständiger verdaut werden können. Dabei handelt es sich im Allgemeinen weniger um chemische Veränderungen, als um Auflockerung der Masse, damit diese den im Organismus thätigen Flüssigkeiten einen möglichst vollkommenen Zutritt gestatten. Das Kochen oder Backen der stärkemehlhaltigen Nahrungsmittel, welche unter den vegetabilischen weitaus am allgemeinsten zur Benutzung gelangen, hat hauptsächlich den Zweck, das Stärkemehl aufzuquellen oder theilweise in Dextrin zu verwandeln. Das Brod und viele andere Mehlspeisen verdanken ihre Leichtverdaulichkeit vorzüglich der in dem Teige durch Zusatz von Hefe eingeleiteten alkoholischen Gährung. Die dabei entwickelte Kohlensäure bildet in der zähen Masse die zahllosen Höhlungen, welche die lockere Beschaffenheit des Produktes bedingen, wobei das schließliche Ausbacken weiter die oben erwähnten Veränderungen veranlaßt. Die Aufgabe der Verdauung ist es nun, alle assimilirbaren Nahrungsstoffe nicht nur in Lösung zu führen, sondern selbe auch auf ihrem Wege durch den Verdauungsapparat bis in das Blut in die Bestandtheile des Letzteren umzuwandeln. Alle Proteinstoffe der Nahrungsmittel gehen sonach schließlich in Albumin und Fibrin über. Die Kohlenhydrate werden Traubenzucker oder Fette. Letztere kommen theilweise, indem sie sich in den Geweben ablagern, zur indirekten Verwendung oder sie verbrennen im Blute und dienen somit als Respirationsmittel, wie größtentheils der Zucker, der ins Blut gelangt, aber auch durch eine eigenthümliche Thätigkeit der Leber sich in dieser bei gesundem Körper aus eiweißartigen Stoffen bildet und wie wir schon früher erzählten, in der sogenannten Harnruhr reichlich sich im Blute und daraus im Harne als Folge einer krankhaften Umsetzung der stickstoffhaltigen Bestandtheile vorfindet.

Speichel. Schon beim Kauen beginnt die chemische Umwandlung der Speise, indem sich während desselben den Nahrungsmitteln der Speichel und Luft bei-

Digitized by Google

mischen. Der Speichel ist eine wenig schleimige, geruch- und geschmacklose Flüssigkeit, die höchstens 1 % feste Bestandtheile, worunter Rhodankalium, enthält. Es finden sich im Speichel nicht näher gekannte organische Stoffe, die entschieden die Fähigkeit besitzen, gleich der Diastase Stärkemehl in Zucker umzuwandeln, welche Metamorphose also schon im Munde beginnt. Hierauf gelangen die zerkleinerten Speisen mit Speichel gemengt in den Magen, dessen Schleimhaut eine saure Flüssigkeit, den Magensaft, absondert. In diesem Magensaft. trifft man etwas freie Milch- und Salzsäure, zudem beiläufig 1½ % feste Bestandtheile, worunter einen nicht näher gekannten Körper (das Pepsin), welcher im Vereine mit den freien Säuren die merkwürdige Fähigkeit besitzt, die coagulirten Proteinstoffe aufzulösen. Dagegen wirkt der Magensaft auf das Stärkemehl nicht ein. Nach längerem Verweilen im Magen gelangen die Speisen in den Zwölffingerdarm, wo sich ihnen zwei im Organismus zubereitete Flüssigkeiten, die von der Leber abgesonderte Galle und aus der Pancreasdrüse der sogenannte pancreatische Saft beimischen. Letzterer bildet Galle und Pancreassaft. ein farbloses, klares, fadenziehendes, geruch- und geschmackloses Liquidum, enthält reichlich einen eiweißartigen, durch Erhitzen coagulirbaren Körper, viel unorganische Salze (im Ganzen 10—11 %) und besitzt im hohen Grade die Fähigkeit, aus Stärkemehl Zucker zu bilden, so daß diese mit dem Speichel begonnene Metamorphose sich nach einer im Magen stattgefundenen Unterbrechung im Zwölffingerdarm fortsetzt. Zudem wirkt der pancreatische Saft auch auf die Fette, welche sich damit zu einer Emulsion vertheilen. Ueber die chemischen Verrichtungen der Galle bei der Verdauung sind wir noch nicht gehörig aufgeklärt. Diese merkwürdige Flüssigkeit enthält neben gelbgrünen Farbstoffen, thierischem Schleim und anderen Substanzen von untergeordneter Bedeutung hauptsächlich die Natronsalze von zwei gepaarten organischen Säuren. Die erste ist schwefelhaltig und heißt Choleinsäure, die zweite wird Cholalsäure genannt. Beide sind farblose krystallisirbare Substanzen. In der Galle findet sich auch fein vertheilt ein Stoff, den man in anderen thierischen Flüssigkeiten ebenfalls angetroffen hat und dessen Bedeutung für die chemischen Lebensvorgänge noch völlig räthselhaft ist, das Gallenfett, Cholesterin, ein aus weingeistiger Lösung sich in farblosen glänzenden Tafeln abscheidender indifferenter Körper, der sich in der Galle zuweilen zu den Gallensteinen zusammenballt, die man auch gewöhnlich zu seiner Reindarstellung benutzt. Mit diesen verschiedenen Substanzen gemengt und dadurch theilweise durchgreifend verändert, setzen die Nahrungsmittel ihren Weg in den Dünndarm fort, wo sich ihnen wieder eine neue Flüssigkeit, der Darmsaft, beimischt, welcher gleichfalls Stärke- Darmsaft. mehl in Zucker umzuwandeln und Proteinsubstanzen aufzulösen vermag. Nun beginnt auch die Auffaugung der Lösung durch zahlreiche, die Wände des Darmes überkleidende Capillargefäße, in welche auch auf eine bisher nicht ganz aufgeklärte Weise die suspendirten Fetttröpfchen eindringen, während die unverdauten oder unverdaulichen Reste der Speisen mit verschiedenen Umwandlungsprodukten und Gallenstoffen vermischt, endlich als Excremente aus dem Organismus geschafft werden.

Mit dieser schließlichen Auffaugung beginnen nun eigentlich die Funktionen der durch die Verdauung hiezu vorbereiteten Nahrungsmittel. Sie nehmen nun an der Zusammensetzung des Organismus, nach mannigfaltigen weiteren Umwandlungen, deren Einzelnheiten uns noch unzugänglich sind, Antheil, oder dienen einfach als Respirationsmittel.

Digitized by Google

Die durch den Ernährungsprozeß hervorgebrachten festen Gebilde unterliegen aber, wie wir schon oben näher erläuterten, endlich auch dem beständigen zerstörenden Einflusse des eingeathmeten Sauerstoffes, und der durch neuen Nahrungsstoff unausgesetzt wieder vorbereitete Ersatz nimmt die Stelle derselben ein.

In dieser beständigen Zersetzung und Neubildung bewegen sich die chemischen Verbindungen, welche in ihrer Gesammtheit den Organismus bilden, bis durch zufällige Störungen, oder in Folge einer früher oder später unausweichlich eintretenden Abnutzung der organischen Gebilde, deren Funktionen für die Fortdauer der Lebensthätigkeit unentbehrlich sind, letztere erlischt und der Tod erfolgt. Mit diesem verfällt der Rest vollständig dem nun durch den Lebensprozeß nicht mehr geregelten Einflusse der Atmosphäre. Gährung, Fäulniß und Verwesung bemächtigen sich des abgestorbenen Körpers, und nach kurzer Zeit sind die Elemente, aus denen derselbe zusammengesetzt war, in ihren einfachsten Verbindungen wieder der Luft und Erde zurückgegeben, um in längerer oder kürzerer Frist sich neuerdings zu organischen Stoffen zu vereinigen, und in stetem Kreislauf an der Entwicklung unabsehbarer Generationen von Pflanzen- und Thierorganismen theilzunehmen.

Druck von C. D. Bädeker in Essen.

Digitized by Google

Essen. **PROSPECTUS.** Novbr. 1856.

Die gesammten
Naturwissenschaften.

Für das Verständniß weiterer Kreise und auf wissenschaftlicher Grundlage

bearbeitet von

Dippel, Gottlieb, Koppe, Lottner, Mädler, Masius, Moll, Nauck, Nöggerath, Quenstedt und **von Rußdorf.**

Eingeleitet

von

Hermann Masius.

Mit etwa 500 in den Text eingedruckten Abbildungen. gr. 8. Fein sat. Velinpapier.
In drei Bänden, die in circa 20 Lieferungen à 10 Sgr. ausgegeben werden.

Verlag von G. D. Bädeker in Essen.

Inhalt:

Einleitung von Herrn Direktor **Masius** in Halberstadt.

Physik und Meteorologie von Herrn Professor **Koppe** in Soest.

Zur physikalischen Technologie:

Dampfmaschinenlehre von Herrn Ingenieur **Moll** in Iserlohn.

Electrische Telegraphie, Galvanoplastik, Daguerreotypie und Photographie von Herrn Direktor **Nauck** in Crefeld.

Chemie und chemische Technologie von Herrn Professor **Gottlieb** in Gratz.

Physiologie von Herrn Dr. **von Rußdorf** in Berlin.

Zoologie von Herrn Direktor **Masius** in Halberstadt.

Botanik von Herrn Dr. **Dippel** in Ibar.

Mineralogie von Herrn Professor Dr. **Quenstedt** in Tübingen.

Geologie und Geognosie von Herrn Geh. Bergrath Prof. Dr. **Nöggerath** in Bonn.

Bergbau und Hüttenkunde von Herrn Oberbergamts-Referendar **Lottner** in Bochum.

Astronomie von Herrn Professor Dr. **Mädler** in Dorpat.

Digitized by Google

„Wenn der Mensch, indem er die verschiedenen Entwickelungsstufen seiner Bildung durchläuft, minder an den Boden gefesselt, sich allmälig zu geistiger Freiheit erhebt, genügt ihm nicht mehr ein dunkles Gefühl, die stille Ahndung von der Einheit aller Naturgewalten. Das zergliedernde und ordnende Denkvermögen tritt in seine Rechte ein; und wie die Bildung des Menschengeschlechts, so wächst gleichmäßig mit ihr, bei dem Anblick der Lebensfülle, welche durch die ganze Schöpfung fließt, der unaufhaltsame Trieb, tiefer in den ursachlichen Zusammenhang der Erscheinungen einzudringen."

Mit diesen Worten Alexander's von Humboldt glauben wir passend die Idee eines Werkes andeuten zu können, welches sich die Aufgabe setzt, bei mäßigem Umfang, in klarer, allgemein verständlicher Darstellung und in frischer, anziehender Sprache, das große Gesammt-Gebiet der Natur zu umfassen.

Bei dem ungemeinen Interesse, mit dem sich in unseren Tagen alle Stände und Bildungsklassen in stets zunehmendem Grade den Naturwissenschaften zuwenden, und bei der Fülle und dem Reichthum in's Leben eingreifender Forschungen und Entdeckungen auf diesem Gebiete, dürfte ein umfassendes Werk, wie es der Heros alles Naturwissens in seinem „Kosmos" dem höhen Gebildeten dargeboten hat, eine faßliche, sich auf das Wichtigste beschränkende Bearbeitung der verschiedenen Zweige der Naturwissenschaften für das größere Publikum wohl an der Zeit sein. Der Laie strebt mehr und mehr nach einer naturwissenschaftlichen Uebersicht und Anschauung im Allgemeinen, wie nach anregender, gründlicher Belehrung über die bedeutsamsten und wesentlichsten Erscheinungen im Einzelnen: nach Einsicht in die großen Resultate der Wissenschaft. Denn sich in Detail-Ausführungen einzulassen, wie sie so manchen trefflichen, mehr oder minder populären Einzel-Werken über Physik, Chemie, Astronomie, Geologie ꝛc. eigen sind, fehlt es Vielen an Neigung und Muße.

Von diesem Gesichtspunkte aus wird hier ein Werk geboten, das in gediegener Behandlung des Stoffes und in lebendig anregender Sprache, in einer Form, die, allem Schulmäßigen fremd, sich mehr der Weise von Vorlesungen vor einem gemischten Publikum als einem geradezu lehrhaften Ton nähert, größeren Kreisen des Publikums das **gesammte Gebiet der Naturwissenschaften** vorführt: die Physik und Chemie, wie die Geologie und Astronomie, die Mineralogie und Botanik, wie die Zoologie und Physiologie. Der reiche Stoff wird in fortlaufender

Digitized by Google

Darstellung, eingehend, das heißt nicht oberflächlich, behandelt, aber es wird nur das näher in's Auge gefaßt, was des allgemeinen Interesses werth ist, den Anforderungen des Lebens entspricht und dem Kreise der gegenwärtigen Bildungsmomente angehört. Dabei hält sich die Darstellung frei von allem Tendenziösen, nach dieser oder jener Richtung hin, doch bietet sie an passender Stelle auch dem Gemüth angemessene Nahrung. Daß vorzüglich auch den neuesten Entdeckungen und Forschungen, soweit sie innerhalb der Grenzen des Werkes liegen, dem Fortschritt und Höhepunkt der Wissenschaft Rechnung getragen wird, versteht sich von selbst.

Da in unserer Zeit das Wissen sich mehr und mehr mit dem Leben vermählt, die Theorie immer erfolgreicher der Praxis die Hand bietet, so wird man es natürlich finden und nur willkommen heißen, wenn in diesem, dem theoretischen Wissen von der Natur gewidmeten Werke auch die hervorragendsten technischen Errungenschaften dieses Wissens eine ausgeführte Behandlung finden, wenn so mannigfach zur Anwendung kommenden, so tief in das Leben der Gegenwart eingreifenden Materien, wie der Dampfmaschinenlehre, der elektrischen Telegraphie, der Galvanoplastik, der Daguerreotypie, dem Bergbau und der Hüttenkunde besondere Darstellungen gewidmet werden. Nur, daß auch hier wie überall die Darstellung sich auf das Wichtigste beschränkt.

Schon die Namen der vorgenannten Mitarbeiter zeugen dafür, daß es sich hier nicht um eine gewöhnliche Populariſirung handelt, — denn an jenen leichtfertigen Produkten, welche das Urtheil irre führen, indem sie selbst von Fehlern und Irrthümern wimmeln, ist unsere Tagesliteratur leider überreich. Solchen Erzeugnissen vielmehr durch gründliche, auf wissenschaftlicher Grundlage beruhende Darstellungen entgegen zu wirken, ist ein Ziel, das sich die Verlagshandlung durch das vorliegende Werk gesteckt hat. Sie tritt nicht mit einer unreifen Compilation hervor, ihr Streben war vielmehr dahin gerichtet, daß jedes Feld des großen Gebiets selbständig von einer Kraft bebaut würde, die gerade diesem vorzüglich gewachsen wäre. Sie hat daher für die einzelnen Theile gewiegte Mitarbeiter gewonnen und glaubt hierdurch dem Werke zugleich einen Reiz der Mannigfaltigkeit in der Darstellung zu verleihen, die ihre Einheit wieder in dem tiefen Grunde der Wissenschaft findet, auf dem alle bauen.

Digitized by Google

Eine Menge, nach Original-Zeichnungen schön ausgeführter Holzschnitte, welche in dem rühmlichst bekannten Atelier von H. Metzger in Braunschweig gefertigt werden, veranschaulichen die Darstellung, und werden dem Werke zur besondern Zierde gereichen. Eine schöne Illustration des Umschlags und die meisten der die einzelnen Wissenschaften sinnbildlich einleitenden Illustrationen verdankt die Verlagshandlung der künstlerischen Hand des Herrn Professor Ad. Schrödter in Düsseldorf. Auf die typographische Ausstattung wird die größte Sorgfalt verwendet.

Der Umfang des Werks wird sich auf drei Bände (jeder c. 30 Bogen stark) erstrecken, welche in c. 20 Lieferungen à 10 Sgr. erscheinen. Das Ganze wird bis Ende 1857 vollendet sein.

So sei denn dies durch einen Verein gediegener Kräfte zur Ausführung gelangende Werk, als eine reiche Quelle naturwissenschaftlicher Erkenntniß, allen denen, welche über die Erscheinungen in der Natur, das Zusammenwirken der physischen Kräfte, über die Resultate der Naturforschung und deren Anwendung auf das Leben, über die verschiedenen Zweige der Naturwissenschaften eine gründliche, doch nicht ermüdende Belehrung, eine Belehrung in angenehmer Form suchen, freundlichst empfohlen!

Essen, im November 1856.

G. D. Bädeker.

Digitized by Google

Ueber

„Die gesammten Naturwissenschaften"

äusserten sich, ausser Alexander von Humboldt in dem der 1. Lief. beigedruckten Schreiben, noch andere namhafte Männer der Wissenschaft in brieflicher Form sowohl wie in journalistischen Beurtheilungen.

So schrieb *Hr. Hofrath* **von Martius** in München, *der ausgezeichnete Reisende und Naturforscher*: „Der Gedanke, aus dem diese schöne, trefflich ausgestattete Unternehmung hervorgegangen ist, kann nur als ein preiswürdiger anerkannt werden, gegenüber solchen Kräften, die Sie vereinigt, gegenüber dem nach gründlicher Belehrung verlangenden Zeitgeist und gegenüber dem gemeinsamen Vaterlande, das bei aller Gespaltenheit sich doch, nach angeerbter Art, in Einem verwandt bleibt: im Cultus des Genius.... So möge sich denn Ihr Werk der verdienten Anerkennung erfreuen!"

In einem Briefe des *Hrn. Geh. Rath* **von Schubert** in München heisst es: „Ich habe mit innigster Befriedigung die meisterhafte Anlage bewundert zu dem grossartigen Unternehmen Ihrer Verlagshandlung: die gesammten Naturwissenschaften in ernster und tiefgreifender und dabei dennoch einfach zum Verständniss unseres Volkes sich hinablassender Weise, für Schule und Haus, im Kunstbau eines Lehrbuches zu vereinen. Die Namen der Männer, welche Sie zu diesem Bau zusammengerufen und bestellt haben, sind schon für sich allein eine Empfehlung des Werkes, die allgemeine Geltung und Bedeutung hat. Denn man findet da Meister genannt, die auf der rechten Höhe stehen, von welcher aus der grosse Bauplan der sichtbaren Werke als ein harmonisches Ganze in all seinen Theilen überblickt werden kann etc."

Auch von *Hrn.* **W. Haidinger** in Wien, *k. k. Sectionsrath* und *Director der k. k. Geolog. Reichsanstalt*, erhielt die Verlagshandlung eine vollen Beifall bekundende Zuschrift, ebenso von *Hrn. Berghauptmann* **von Carnall** in Breslau und *Hrn. Berghauptmann* **von Oeynhausen** in Dortmund.

Aus den vielen Besprechungen in Zeitschriften heben wir nur folgende Stimmen hervor:

Deutsches Museum, 1857, Nro. 1. „Der Leser wird sich überzeugen, dass es sich hier um mehr als eine der üblichen buchhändlerischen Speculationen handelt, nämlich um ein Werk, das, von Männern geschrieben, die auf der Höhe der Wissenschaft stehen und deren Verdienst auch zum grössten Theil bereits die allgemeinste Anerkennung gefunden hat, in der That als ein entsprechender Ausdruck der heutigen naturwissenschaftlichen Bildung, in ihrer reinsten und edelsten Gestaltung, gelten darf. Diese Erwartung wird bekräftigt durch ein Schreiben Alex. v. Humboldt's an den Verleger des Werks, welches demselben vorgedruckt ist und wodurch denn alle weitern Empfehlungen seitens der Kritik allerdings überflüssig werden. Einem Lobe aus solchem Munde haben wir nichts hinzuzusetzen und können wir nur wünschen, dass das auch äusserlich vortrefflich ausgestattete, mit zahlreichen Illustrationen versehene Werk beim Publikum eine Aufnahme finde, die seinem innern Werthe, sowie dem Ruf seiner Mitarbeiter entspricht." *(Prof. Dr. Prutz.)*

Kölnische Zeitung, 1856, Nro. 350. „Die Verlagshandlung hat es unternommen, ein Werk ins Leben zu rufen, dessen Erscheinen in seiner Wichtigkeit für das Studium der Natur nicht hoch genug angeschlagen werden kann, indem sich die Verfasser desselben die Aufgabe setzten, bei mässigem Umfange, in klarer, allgemein verständlicher Darstellung und in frischer, anziehender Sprache das grosse Gesammtgebiet der Natur zu bearbeiten. Die Namen der Herausgeber bürgen schon allein dafür, dass kräftige Speise in tendenzgemässer Richtung geboten wird, und die erste Lieferung gibt redendes Zeugniss, wie das Streben dahin gerichtet ist, dem Gebildeten eine naturwissenschaftliche Uebersicht und Anschauung im Allgemeinen zu gewähren und in gründlicher, anregender Weise die Resultate der Wissenschaft vorzuführen. Herr *Koppe* hat mit der Physik und Meteorologie begonnen und in gewohnter Weise mit ungemeiner Klarheit und Deutlichkeit die allgemeinen Eigenschaften der Körper, die Statik fester, flüssiger und luftförmiger Körper und die Elemente der Mechanik abgehandelt. Die Holzschnitte sind in vortrefflicher Güte von G. Mezger in Braunschweig, und die Illustrationen, ganz gelungen, durch die künstlerische Hand unseres vortrefflichen Professors A. Schrödter in Düsseldorf ausgeführt. Die typographische Ausstattung des ganzen Werkes lässt nichts zu wünschen übrig." *(Oberlehrer Dr. Garthe).*

Digitized by Google

Lotos, Zeitschr. f. Naturwissensch. (Prag), 1857, Märzheft. „In immer weiteren Kreisen, in allen Schichten der Gesellschaft wird heutzutage die Nothwendigkeit anerkannt, sich entsprechende Kenntniss von der Natur im Allgemeinen, und ihren Kräften und Stoffen insbesondere anzueignen. Nicht nur die Gelehrten und Höhergebildeten, auch das grössere Publicum fühlt sich gedrungen, die verschiedenen Naturerscheinungen zu begreifen, die unzähligen Naturkörper möglichst näher kennen zu lernen. Somit erklären sich die wiederholten Versuche auf dem literärischen Gebiete der Gegenwart, durch mehr oder weniger populär gehaltene Lehr- und Handbücher die Naturwissenschaft zugänglich zu machen, um den Isisschleier zu lüften, der den Ungeweihten die Harmonie des Weltalls verhüllt. Einen der hervorragendsten, ersten Plätze in dieser Literatur dürfte, unsers Erachtens, das so eben im Verlage der Bädeker'schen Buchhandlung in Essen lieferungsweise erscheinende umfassende Werk verdienen, welches den allgemeinen Titel führt: Die gesammten Naturwissenschaften, für das Verständniss weiterer Kreise und auf wissenschaftlicher Grundlage bearbeitet von Dippel u. s. w., eingeleitet von *H. Masius*. Ein Werk, von dem der Hohepriester der Wissenschaft, *A. v. Humboldt*, bei Gelegenheit der Annahme der Widmung sich dahin aussprach: „die begonnene Schrift wird ein Gegengift sein für die vielen inhaltleeren Schriften, mit denen Deutschland mehr als die Nachbarstaaten überschwemmt ist, in denen freilich die „Begeistigung des Tannenholzes" sich auch forterhält." Die uns bereits vorliegenden zwei Lieferungen sind, auch was die äussere Form anbelangt, in typographischer Beziehung so ausgestattet, dass sie nichts zu wünschen übrig lassen: nebst den sehr zahlreichen, in den Text eingedruckten, recht gelungen ausgeführten Holzschnitten muss namentlich die sehr sinnreiche Illustration (von Prof. Schrödter in Düsseldorf) auf dem Umschlage, dann der schöne Iris-Farbendruck auf S. 97 lobend hervorgehoben werden. Ueber die Durchführung des wissenschaftlichen Inhaltes wollen wir erst dann unser Urtheil abgeben, bis uns wenigstens der ganze erste Band vorliegen wird; doch glauben wir jedenfalls die Aufmerksamkeit aller Kreise des Publicums schon jetzt empfehlend auf dies wichtige Unternehmen hinlenken zu können. Möge es die verdiente Verbreitung erlangen."

Hamburger Correspondent, 1857, Nro. 19. „Wir nennen hier ein Werk, das in seinen mannichfachen Darstellungen aus dem ganzen Naturleben eine der bedeutendsten Erscheinungen der Litteratur zu werden verspricht, und der geschehenen Einleitung nach alle ähnlichen Arbeiten neuerer Zeit weit überragen dürfte. Es haben sich zu dieser geistigen Schöpfung in Wort und Bild Kräfte vereinigt, wovon jede einzelne schon Bedeutendes geleistet und Lehre und Licht um sich verbreitet hat, und hier nun im harmonischen Zusammenwirken einen weithinschauenden Bau des Wissens und Weiterforschens zur Belebung für Alle, die denkend sich des Wunderwerkes der Erde und des Himmels freuen, mit gewissenhaftem Fleiss errichten wollen. Plan und Ausführung sind bereits erkennbar, und an dem Gelingen des Ganzen ist nicht zu zweifeln, so wie sich auch schon herausstellt, dass es in typographischer Hinsicht ein Prachtwerk werden wird."

„Wie die Bearbeitung der einzelnen wissenschaftlichen Zweige vertheilt worden, sagt gleich zu Anfang der Prospect. Aber nicht allein Lehre wird hier gespendet, auch Gemüth und religiöses Gefühl finden ihren Theil und mancher herrliche Einleitungsvers edelster Dichter klingt nicht vergeblich zum Herzen."

Dresdener Journal, 1857, Nro. 25. „Mit Freuden begrüssen wir ein Werk, das bei dem ersten Anblick sich nicht nur durch die auf dem Titel ersichtlichen Namen seiner Verfasser, sondern auch durch eine seltene typographische Ausstattung und die Schönheit und Schärfe der darin befindlichen Abbildungen empfiehlt. Gewidmet dem „Grossmeister der Naturwissenschaften" Alexander v. Humboldt und eingeführt durch das Dankschreiben, welches derselbe bei Annahme der Dedication an den Verleger gerichtet hat, giebt das uns vorliegende Heft zuvörderst eine trefflich geschriebene Einleitung von *H. Masius*."

„Den Anfang in dem bis jetzt erschienenen ersten Hefte macht Physik und Meteorologie von *Karl Koppe*, Professor und Oberlehrer in Soest. Der Raum und die Tendenz unsers Blattes gestattet uns nicht, weiter auf den wissenschaftlichen Werth dieser Bearbeitung einzugehen; bürgt aber für denselben schon der Name des Verfassers, so können wir vor Allem versichern, dass sie in einer für den Laien vollkommen verständlichen Weise verabfasst ist, daher der an der Spitze des Planes gestellten Bedingung der Popularität angemessen entspricht. Wenn wir daher uns dahin auszusprechen alle Veranlassung haben, dass dieses zeitgemässe und Gediegenes versprechende Werk nicht blos in die Hände der Männer vom Fach, sondern auch in die der Laien kommen und sich weite Anerkennung verschaffen möge, so hoffen wir, dass es zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse recht viel beitragen werde." *(Hofrath Dr. Reichenbach.)*

Stimmen der Presse

über

„Die gesammten Naturwissenschaften".

Magazin f. d. Literatur d. Ausl. „Wir zweifeln nicht, dass dieses Werk, da es zugleich allen Vermögensclassen zugänglich sein wird, grosse Verbreitung im deutschen Publikum finden werde. . . . Die 1. Lieferung bringt in einem zierlichen Umschlage, der die Figur Alexander von Humboldt's, umgeben von den Emblemen der Natur und der technischen Wissenschaften, zeigt, eine gedrängte Einleitung, von *Director Masius*, worin — ein unterscheidendes Merkmal des neuen Werkes von so vielen frivolen Naturdarstellungen unserer Zeit — die Erkenntniss des göttlichen Geistes als höchstes Ergebniss der Naturbetrachtung bezeichnet und auf die erhabenen Worte des Psalmisten hingewiesen wird:

„Die Himmel erzählen die Ehre Gottes,
und die Veste verkündigt seiner Hände Werk!"

Elberfelder Zeitung, 1857. „Das vorliegende Buch ist eine höchst willkommene Gabe. Männer der Wissenschaft haben sich vereinigt, die einzelnen Zweige der Naturkunde auf wissenschaftlicher Grundlage, aber in allgemein verständlicher Rede, in einen Gesammtrahmen von mässiger Grösse zusammen zu fassen. Jeder der Theilnehmer hat den Zweig bearbeitet, der den Gegenstand seines besonderen Studiums, der seinen Lebensberuf ausmacht; so konnte Jeder in seinem Felde Gediegenes leisten. Wir finden unter ihnen die Namen eines *Nöggerath*, eines *Masius*, eines *Mädler* und anderer bewährten Männer, welche eine vorzügliche Arbeit erwarten lassen. — Der Laie wird in dem Werke eine anziehende und zugleich belehrende Lecture finden, und auch der Mann vom Fach wird es nicht unbefriedigt aus der Hand legen, — dess sind wir überzeugt." *(Bergamtsdirector Huyssen.)*

Oesterreichische Zeitung. „Die Ergebnisse des Forschens werden in klarer und lichtvoller Sprache dem Leser vorgeführt, und dabei jene Grenze in der Darstellung eingehalten, die für die grosse Welt der Gebildeten, die nicht ein specielles Fachstudium, sondern nur Bekanntschaft mit der Wissenschaft verlangen, nöthig ist. . . . Allen unsern Lesern, die sich für die Erkenntniss der Natur interessiren, können wir die Anschaffung des werthvollen Buches auf das Wärmste anrathen."

Schwäb. Merkur, 1857, Nro. 57. „Als eine vielversprechende Frucht, welche das naturwissenschaftliche Interesse hervorgerufen hat, ist das im Verlage von Bädeker in Essen erscheinende Werk anzusehen, dessen Ausführung eine Anzahl der bewährtesten Männer vom Fache übernommen hat. . . . Was erstrebt werden soll, das ist ein Ueberblick über die naturwissenschaftlichen Zweige, eine nähere Bekanntschaft mit den wichtigsten Erscheinungen, Kräften und Gestalten des physischen Lebens, ein Verständniss für die grossen praktischen Resultate der Forschung. In der That legt die erste erschienene Lieferung, welche mit der Physik von *Koppe* beginnt, ein sehr günstiges Zeugniss ab von dem anziehenden Wege, auf dem diese Männer der Wissenschaft in das naturwissenschaftliche Gesammtgebiet einzuführen bestrebt sind. Mit vollendeter Klarheit und Anschaulichkeit weiss der Verfasser dieser Physik seinen Leser mit den Eigenschaften der Naturkörper überhaupt, der organischen wie der unorganischen, mit den Veränderungen, welche dieselben durch ihre gegenseitige Einwirkung erleiden, wie mit den Gesetzen, welchen diese Veränderungen unterworfen sind, bekannt zu machen. Die beigedruckten Abbildungen sind trefflich ausgeführt und dem leichteren Verständniss nicht wenig förderlich. Mit voller Befriedigung folgt der Leser dem Meister seiner Wissenschaft, und freut sich der Aufschlüsse, die ihm, wie es in der Einleitung heisst, geboten werden über „das Licht, das aus goldenen Brunnen des Himmels fliesst und den Tag und seine farbige Welt entzündet; die Wärme, die mit dem freundlichen Strahl so gerne sich gattet und aller Orten Leben weckt; den Klang, den die zitternde Saite, das geschwungene Erz erweckt, und der im vielzüngigen Spiele des Echos sich gefällt; den Zug der Winde und Wolken, den geheimnissvollen Strom magnetischer und elektrischer Kräfte". In diesem Geiste und mit so entschiedenem Glück weiter geführt, wird dieses zeitgemässe Unternehmen bedeutende Früchte tragen."

Zeitung f. Norddeutschland. „Es liegt auf der Hand, dass die Männer, welche sich hier vereinigt haben, Männer, die zum Theil zu den Ersten ihrer Wissenschaft zählen, ein Werk liefern werden, mit dem die Arbeiten Einzelner nicht den Vergleich aushalten."

Digitized by Google

Berggeist, 1857, Nro. 4. „Es sind keine trockenen Compendien der verschiedenen naturwissenschaftlichen Zweige, welche dieses Werk liefern wird; es sollen vielmehr die Lehren derselben nach den wesentlichsten Momenten in einer freundlichen und ansprechenden Form recht eigentlich für das praktische Leben zugänglich gemacht, umrisslich und doch die Tiefe erschöpfend dargestellt werden. Es ist die Absicht ein Werk zu liefern, welches nicht für den Gelehrten vom Fache bestimmt ist, aber welches dennoch dessen scharfe Kritik auszuhalten vermag. Allen denkenden Männern, welcher Gilde sie auch angehören mögen, nicht weniger den Frauen, welche sich irgend auf dem wissenschaftlichen Boden der Zeit bewegen wollen, ist das Werk nach seiner Tendenz und Haltung bestimmt. Die Kenntniss von den Kräften und von den Körpern in der Natur ist eben so zum allgemeinen Bedürfniss geworden, als sie anderer Seits den Geist erhebt und die allgemeine Bildung fördert; sie greift tief in die Verhältnisse des intellectuellen und physischen Lebens ein, und Allen, welche auf dem Standpunkte stehen, dieses zu erfassen, und desfalls gute und leicht zugängliche Belehrung wünschen, dürfen wir das schriftstellerische Unternehmen aus voller Ueberzeugung bestens empfehlen."

Neue Preuss. Zeitung, 1857, Nro. 36. „Ein Verein von Gelehrten, deren Namen allein schon für die Tüchtigkeit des zu Leistenden bürgen, beabsichtigt, mit diesem Buche den Laien auf anziehendem Wege einzuführen in das Gesammtgebiet der Naturwissenschaften. Vor uns liegen die beiden ersten Lieferungen, welche nach einer auf das ganze Werk bezüglichen Einleitung vielleicht die Hälfte der Physik, bearbeitet von *Koppe*, enthalten. Diese Disciplin findet hier eine Darstellung, wie sie wohl allen Anforderungen genügt, die man an eine populäre Behandlung zu machen berechtigt ist. Die einzelnen Naturgesetze werden in passender Auswahl und Anordnung dem Leser in klarer Entwickelung vorgeführt und durch Beispiele aus dem Leben erläutert. Die Ausstattung des Buches, besonders die zur Erläuterung beigegebenen Holzschnitte verdienen rühmliche Erwähnung, und so glauben wir, das vorliegende Buch dem grösseren Publikum angelegentlich empfehlen zu können."

Aachener Zeitung, 1857, Nro. 16. „In den zwei ersten Heften ist, ausser der vom *Director Masius* gelieferten, vortrefflich geschriebenen Einleitung in das ganze weite Gebiet, der grösste Theil der Physik (vom *Prof. Koppe*) enthalten. Wir finden darin alles das kurz zusammengefasst, was der gebildete Laie von dieser Wissenschaft kennen muss, um nicht als unwissend zu gelten; jede unnütze Weitschweifigkeit ist vermieden, und eben so das nähere Eingehen auf Entwickelungen, die nur den Mann vom Fach interessiren. Ist auf diese Weise durch gute Auswahl des Stoffes, durch klare und lebendige Darstellung seitens des Verfassers das Mögliche geschehen, so hat auf der andern Seite auch die Verlagshandlung kein Opfer gescheut, durch prächtigen Druck und ausgezeichnet schöne Holzschnitte das Buch im Aeusseren auf das Vortrefflichste auszustatten. *Alexander v. Humboldt* hat die Widmung angenommen, und ein Abdruck des dieserhalb von ihm an den Verleger gerichteten Schreibens, welches sich höchst anerkennend und aufmunternd über das Unternehmen ausspricht, ist der ersten Lieferung beigegeben. Man hätte das Werk nicht in besserer Art beim Publikum einführen und empfehlen können."

Olmützer Zeitung. „Das erste Heft liegt uns vor Augen und wir fühlen uns durch die Einsichtnahme zu einer warmen Empfehlung desselben an das gebildete Lesepublikum um so mehr aufgefordert, als die Namen der Mitarbeiter eine sichere Garantie für die geistvoll anregende und belehrende Vollendung des Ganzen bieten."

Düsseldorfer Zeitung, Nro. 310. „Es nähert sich das Werk der Form nach den Vorlesungen für ein gemischtes Publikum und wir wünschen dieser Arbeit eine sehr zahlreiche Anzahl von Lesern. Es gibt so viele, welche auch auf diesem Gebiete unterrichtet sein und den gewaltigen Fortschritten der neuesten Zeit folgen mögen, ohne dass sie Musse hätten, eigene umfangreiche Studien zu machen; auch für diese scheint uns das Werk besonders geeignet. Das erste Heft bringt den Anfang der Physik, bearbeitet von Professor *Koppe* in Soest, und zeigt nicht allein, wie gediegen und fasslich man die Fächer zu behandeln gedenke, sondern auch, wie geschmackvoll das Werk ausgestattet werden soll. Der flachen Lectüre wird nur allzuviel geboten, mögen solche Werke, wie das vorliegende, immer mehr unter alle Stände die Kunde von Dingen bringen, welche eben so sehr zur Tüchtigkeit der Gesinnung, als zur Erkenntniss der grossen Entdeckungen führen und zu weiteren Studien auffordern."

Digitized by Google

Fernere

Stimmen der Presse

über

„Die gesammten Naturwissenschaften."

Oestr. Zeitschrift für Berg- u. Hüttenw., 1857, Nr. 23. „Wir zeigen mit Vergnügen das Erscheinen der 3. und 4. Lieferung dieses von uns schon in früheren Nummern erwähnten Werkes an, denn darin ist die „Physik und Meteorologie" von Karl Koppe abgeschlossen, und gestattet uns dieser Umstand ein Urtheil über diesen für sich schon bedeutenden Theil dieses Unternehmens. Es freut uns, diese Abtheilung als gelungen bezeichnen zu können. Hr. Koppe hat wirklich das Wichtigste und Interessanteste aus dem reichen und unerschöpflichen Stoffe, den er zu behandeln unternahm, gut und jedem wahrhaft Gebildeten fasslich in ein Ganzes zusammengestellt, welches ohne Prätension und Schönrednerei auftritt und doch zugleich angenehm zu lesen ist. Anerkennenswerth ist die geschickte Verwebung der kosmischen Phänomene mit den physikalischen Grundlehren, z. B. in der 3. Lieferung, S. 136—143 die Theorie der Luftströmungen mit der Wärmelehre, und S. 158 (Regen), 164—172 Temperatur, Isothermen etc. — S. 173—220 behandelt den Magnetismus und die Electricität, — präcis und durch sehr gute Holzschnitte erläutert. Auch hier müssen wir gestehen, dass die Behandlung dem encyklopädischen Zwecke des ganzen Werkes angemessen, deutlich und klar ist, und wir können nur wünschen, dass alle übrigen Partien in gleicher Weise behandelt werden. Noch im 4. Hefte gegen Ende beginnt die physikalische Technologie und zwar mit der Dampfmaschine. Wir versparen die Besprechung dieser Abtheilung bis zum Erscheinen des 5. Heftes. Die abgeschlossene erste Abtheilung des Unternehmens hat nicht verfehlt, unser Interesse für die Fortsetzung zu erhöhen, — die Ausstattung ist die gleiche sehr rühmenswerthe geblieben."

Dresdener Journal, 1857, Nr. 108. „Das in Nr. 25 d. Bl. angezeigte Werk: „Die gesammten Naturwissenschaften, populär dargestellt von Dippel u. A., bei Bädeker in Essen", hat bereits allseitige Anerkennung gefunden, und wir freuen uns, die stattgefundene Versendung der Lieferungen 3 und 4 schon melden zu können. Dieselben sind der Physik und Meteorologie ferner gehörig und die wichtigen Abschnitte „Wärme" und „Electricität" werden weiter verfolgt und geschlossen. Zur physikalischen Technologie hat noch die Arbeit über die Dampfmaschine vom Civil-Ingenieur Moll in der 4. Lieferung begonnen. Es ist nicht zu läugnen, dass dieses Werk in eben so inhaltreicher Gediegenheit, wie in gefälligem Anstande in Hinsicht auf Ausstattung dem Leser sich darbietet, denn auch Papier und Druck, sowie die überaus zahlreichen und eben so deutlichen wie eleganten Figuren gewinnen ihm Beifall."

Elberfelder Zeitung, 1857, Nr. 140. „Im Verlag von G. D. Bädeker in Essen hat mit diesem Jahre ein Werk zu erscheinen begonnen, welches wir uns verpflichtet fühlen, Allen aufs Wärmste zu empfehlen, die gewohnt sind, mit offenem geistigem Auge die sie umgebenden Dinge nach ihrem Wesen, ihren Eigenschaften und Entwicklungen und nach ihrer Verwandtschaft anzuschauen, und mit einem höheren als bloss materiellen Interesse über das grosse Erndtefeld der neuen Erfindungen und Entdeckungen und des neuesten mächtigen Aufschwunges der Industrie hinzublicken.

„Die Idee des Werkes, die architectonische Gliederung und Harmonie seines Stoffes ist auf dem Umschlag der ersten Lieferung im Bilde von Ad. *Schrödter's* vielbewährter und vielgerühmter Künstlerhand geistvoll dargestellt. — *Im Unterbau* des Bildes kommen Mineralogie, Geognosie und *Geologie, Bergbau und* Hüttenkunde, jene fundamentalen Disciplinen wie der Industrie so der wissenschaftlichen Kenntniss von ihr, zur symbolischen Darstellung. — Aus diesem Boden spriesst in Palmen, Ranken und Reben das vegetabilische Leben zum Licht, und um die Stämme und in den Zweigen ringelt und regt sich das Thierreich, das kriechende, laufende und fliegende, beides arabeskenartig in seiner tropischen und heimischen Mannichfaltigkeit. Das ist die Zoologie und Botanik. Rechts, über der Mineralogie, gruppiren sich verschiedene Apparate und Instrumente zu einem Laboratorium, in welchen Chemie, Physik und Physiologie ihre Geheimnisse enthüllen. Links, über der Hüttenkunde, braust eine Locomotive auf ihrem Schienenweg daher, worin sich die physikalische Technologie versinnbildlicht, welche ausser der Dampfmaschinenlehre noch die electrische Telegraphie, Galvanoplastik, Photographie u. s. w. zur Darstellung bringen wird. Und von Oben

aus der Höhe strahlen die Lichter des Himmels herein, hindeutend auf die Astronomie, die Wunder der Sternenwelt. Und in der Mitte des Bildes findet die Einheit, die Harmonie all dieser Wissenschaften, welche man umfassend mit einem griechischen Namen Kosmos nennt, ihre persönliche Ausprägung in unserm Alexander von Humboldt. Da steht dieser kosmische Mann im Centrum, und die Arabesken-Symbole umschliessen seine Gestalt als eine Glorie seiner, alle Gebiete der Naturkunde beherrschenden Meisterschaft.

„Humboldt's Kosmos ist esoterischer Art. Für den Laien in der Naturwissenschaft ist er ein vielfach versiegeltes Buch, ein mit Hieroglyphen geschriebenes. — Es galt, einen Humboldt zu finden, welcher dem gebildeten Laien von den gelösten oder noch verschlossenen Räthseln der gesammten Naturwissenschaften erzählen könnte. Aber es findet sich keiner.

„Denn es ist eine unwürdige Auffassung, dass man, um eine Sache populär darzustellen, bloss die wissenschaftliche Mittelmässigkeit an das Schreibpult zu setzen brauchte. Der Mittelmässige, mag er nun fliegen oder kriechen sollen, immer wird er es nur als ein Mittelmässiger thun. Vielmehr erfordert es die höchste Stufe der Befähigung, einen Gegenstand nach seiner ganzen Fülle und Tiefe mit fester Hand auch den entfernter Stehenden zu zeigen.

„Und weil nun nicht der Eine König zu finden war, der mit gleicher Tüchtigkeit alle Provinzen der Naturwissenschaften — deren jedwede neuerdings an Ausdehnung so gewonnen hat, dass sie den Fleiss und den Geist eines ganzen Menschenlebens verbraucht — in der genannten Absicht zu beherrschen vermochte, so hat die Verlagshandlung zu vorliegendem Werk eine Zahl trefflicher Männer verbunden, von denen Jeder ein königlicher Verwalter seines Gebietes genannt zu werden verdient. Ihre Namen, sie sind auf dem Titel genannt, klingen gut und weit, wie Allen bekannt.

„Da wird nun Jeder dieser Männer aus dem Vollen schöpfen, aus der Tiefe seines naturwissenschaftlichen Eigenthums. Das eine Licht ernster, reifer, freudiger Wissenschaftlichkeit bricht sich frisch und farbig in dem Kranz der individuellen Verschiedenheiten. So wird gerade der Umstand, dass das Werk mehrere und zwar solche Verfasser hat, nicht nur die Gediegenheit jedes Einzelnen verbürgen, sondern auch nach seiner Vollendung jene kaleidoskopische Wirkung haben, welche die Blätter verschiedener Blüthen in dem dazu construirten Glase immer nur als ein Ganzes von runder, schöner Gestalt erscheinen lässt.

„Die vorliegenden vier ersten Hefte berechtigen uns zu diesem Urtheil. Das einleitende Wort von Masius ist herzwarm und krystallklar; es hat einen rhythmischen Fluss wie ein Prolog, hinter dem ein classisches Drama folgen muss. Die treffliche Behandlung der Physik und Meteorologie von K. Koppe zieht sich durch die drei ersten Hefte bis in die Mitte des vierten. In dieser vierten Lieferung, welche eben erschienen ist, sehen wir die Dampfmaschine, durch C. L. Moll lebensvoll dargestellt, aus ihrer Geschichte sich zusammenfügen und die Titanenkraft ihrer ehernen Glieder zu tausendfachem Dienst dem Menschen erbieten.

„Die Ausstattung verspricht ein thatsächliches Lob zu werden jenes industriellen Ursprungs, von welchem das Werk auch reden wird. Druck und Papier ausgezeichnet; die Holzschnitte, deren bei 500 den Text veranschaulichen werden, sind höchst sauber durch G. Metzger in Braunschweig ausgeführt.

„Aber des Rühmens ist nicht noth, seit der „Grossmeister der Naturwissenschaften", Alexander v. Humboldt, die Widmung dieses Werkes mit freundlichem Danke angenommen und von demselben gesagt hat: „Die begonnene Schrift kenntnissvoller Männer werde ein Gegengift sein für die vielen inhaltleeren populären Schriften, mit denen Deutschland mehr als die Nachbarstaaten überschwemmt ist."

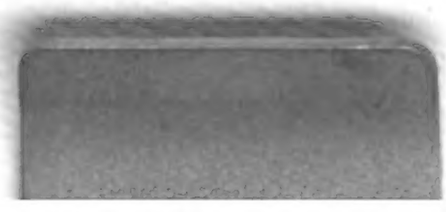
„Die Naturwissenschaften sind zu einer bedeutsamen Macht herangewachsen, nicht nur für die Gestaltung der materiellen Kulturverhältnisse, sondern auch für die Zelle des Philosophen. Niemand wird sie ungerächt mit grämlichem, nicht einmal mit leichtfertigem Auge ansehen dürfen. Mancher meint gleichwohl, er habe ein Recht dazu, und zwar im Interesse der Religion, und des Christenthums besonders.

„Von Elias, dem prophetischen Manne, wird erzählt, dass er einst in einer Höhle des Berges Horeb gesessen. Da sei ein Sturm aufgeflogen, welcher den Berg spaltete und den Felsen zerbrach; die Erde habe gebebt und Feuer sei aus ihr hervorgeflammt. Aber nach diesem Wechseln und Wogen sei ihm der Herr, der vorher verborgene, in einem stillen sanften Säuseln erschienen.

„So ist nun nicht der die Sinne betäubende Kampf der Elementarkräfte, die sich tausendfach lösen und verschlingen, das Blitzen und Brausen der gährenden Stoffe, der aufwirbelnde Dampf und der lockende Goldregen der Industrie das Letzte und Schönste. Doch bleibt der Mensch gewöhnlichen Schlags, der materialistische, berauscht davor stehen und betet an. Aber der höhere Mensch harret, dem Propheten gleich. Und die muthige, treue, keusche, geistfrische Wissenschaft schaut in dem feurigen Schwung der Kräfte das ewige Gesetz, das schöpferische Gesetz des Ewigen und Lebendigen. Sie ist das sanfte stille Wehen des Windes, in welchem zuletzt der Herr erscheint."

Bayerische Staatsbibliothek

Digitized by Google



H. HEINRICH
Buchbinderei

Digitized by Google